

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**VARIAÇÕES CLIMÁTICAS NA PRECIPITAÇÃO NO
SUL DO BRASIL NO CLIMA PRESENTE E FUTURO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Jossana Ceolin Cera

Santa Maria, RS, Brasil
2011

VARIAÇÕES CLIMÁTICAS NA PRECIPITAÇÃO NO SUL DO BRASIL NO CLIMA PRESENTE E FUTURO

por

Jossana Ceolin Cera

Dissertação de Mestrado ao Curso de Mestrado do Programa de
Pós-Graduação em Meteorologia, Área de Concentração em
Climatologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Meteorologia.

Orientador: Prof^ª. Simone Erotildes Teleginski Ferraz

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado.

**VARIAÇÕES CLIMÁTICAS NA PRECIPITAÇÃO NO SUL DO BRASIL
NO CLIMA PRESENTE E FUTURO**

elaborada por
Jossana Ceolin Cera

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Meteorologia.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Simone Erotildes Teleginski Ferraz, Dra.
(Presidente/Orientador)

Andrea de Oliveira Cardoso, Dra. (UFABC)

Nereu Augusto Streck, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 17 de março de 2011.

Aos meus pais Cleci Maria e
José por todo amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Dra. Simone Erotildes Teleginski Ferraz pela orientação, dedicação durante o mestrado e na graduação como aluna de iniciação científica. Agradeço pelo apoio, paciência e conhecimento adquirido.

À todos os professores do curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Santa Maria.

À Dra, Rosmeri Porfírio pela ajuda na instalação e instrução do Modelo Regional RegCM na UFSM.

Ao Dr. Tércio Ambrizzi e a Dra. Rosmeri Porfírio pela cessão dos dados do Projeto PROBIO.

Ao Dr. Brant Liebmann pela cessão dos dados pluviométricos.

À Universidade Federal de Santa Maria, particularmente ao Centro de Ciências Naturais e Exatas pela oportunidade de realizar o curso.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação e Graduação em Meteorologia pelo apoio, incentivo e sugestões.

Aos meus amigos pela amizade, incentivo, motivação e força em todos os momentos.

Em especial, agradeço muito à minha família: minha mãe Cleci Maria, meu pai José e meu irmão Cleomar, pelo amor e dedicação, pelas palavras de apoio e incentivo, pela paciência e por acreditarem em mim.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia
Universidade Federal de Santa Maria

VARIAÇÕES CLIMÁTICAS NA PRECIPITAÇÃO DO RIO GRANDE DO SUL NO CLIMA PRESENTE E FUTURO

AUTORA: Jossana Ceolin Cera
ORIENTADOR: Simone Erotildes Teleginski Ferraz
Local e Data da Defesa: Santa Maria, 17 de março de 2011.

Este trabalho apresenta a análise de tendências de precipitação para a região Sul do Brasil, para três conjuntos de dados com uma comparação entre dados de precipitação e dados do Modelo regional RegCM3 e uma análise de tendência para o clima futuro. O trabalho também apresenta os modos de variabilidade de precipitação que atuam na região Sul do Brasil. Utilizando a análise de componentes principais em dados de precipitação diária filtrados nas bandas 2/20 dias, 20/100 dias e banda interanual foram encontrados campos espaciais e temporais que representam a máxima variância de determinadas variabilidades, e neles foram detectados os modos de variabilidade de precipitação para cada estação do ano. E com as séries de desvio padrão foi possível determinar a quantidade de eventos secos e chuvosos presentes em cada modo de variabilidade. Os modos foram calculados para três períodos: de 1981 a 2007 para os dados de precipitação do Dr. Liebmann, de 1982 a 2006 para os dados do Modelo RegCM3 e de 2070 a 2086 para os dados do Modelo para o clima futuro, sendo que o cenário de emissão utilizado para este último período foi o A2 (considerado pessimista). Foram encontrados três modos de variabilidade denominados Modo Sul, Modo PR e Modo Niño.

Palavras-chave: Climatologia. Tendências de Índices de Extremos Climáticos. Modos de Variabilidade de Precipitação.

RESUMO

Dissertation
Graduate Program in Meteorology
Universidade Federal de Santa Maria

CLIMATE CHANGE IN PRECIPITATION IN SOUTHERN BRAZIL IN PRESENT AND FUTURE CLIMATE

AUTHOR: Jossana Ceolin Cera

GUIDANCE: Simone Erotildes Teleginski Ferraz

Place and Date of Defence: Santa Maria, 17 from March 2011.

This study presents the analysis of precipitation trends for the Southern region of Brazil, for three present climate periods with a comparison between precipitation data and data of the regional Model RegCM3 and an analysis of future climate tendency. The study also presents the pattern of precipitation variability which operates in the South region of Brazil. Using the Principal Components Analysis for daily precipitation data filtered in 2/20 day band, 20/100 day band and interannual band, spatial and temporal fields were found which represent the maximum variance of certain variabilities and in these, the variability pattern of precipitation for each season. And with the standard deviation series it was possible to determine the quantity of dry and rainy events present in each variability pattern. The pattern were calculated in three periods: from 1981 to 2007 for the precipitation data by Dr. Liebmann, from 1982 to 2006 for the data of the RegCM3 Model and from 2070 to 2086 for the data of the Model for future climate, being the A2 the scenery for emission used for the last period (considered pessimist). Three variability pattern were found, they were denominated Modo Sul, Modo PR and Modo Niño.

Key words: Climatology. Index Tendencies of Climate Extremes. Precipitation Variability Pattern.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização das 225 estações utilizadas no estudo.....	32
Figura 2 – Número de Dias Consecutivos Secos (CDD) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b) e para os dados PREC_FU.....	45
Figura 3 – Número de Dias Consecutivos Úmidos (CWD) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do PREC_RE (b).....	46
Figura 4 – Precipitação Total Anual (PRCPTOT) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).....	47
Figura 5 – Número de dias com precipitação acima de 10 mm (R10mm) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).....	48
Figura 6 – Número de dias com precipitação acima de 20 mm (R20mm) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).....	48
Figura 7 – Número de dias com precipitação acima de 25 mm (R25mm) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).....	49
Figura 8 – Precipitação Total Anual quando a precipitação for maior que o percentil 95 (R95p) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).....	50
Figura 9 – Precipitação Total Anual quando a precipitação for maior que o percentil 99 (R99p) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).....	51

Figura 10 – Quantidade Máxima de Precipitação em um Dia (Rx1dia) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).....52

Figura 11 – Quantidade Máxima de Precipitação em Cinco Dias Consecutivos (Rx5dia) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b)...53

Figura 12 – Índice de Intensidade de Precipitação Simples (SDII) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).....53

Figura 13 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....56

Figura 14 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quinto Modo.....57

Figura 15 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....57

Figura 16 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quinto Modo.....58

Figura 17 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....59

Figura 18 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....60

Figura 19 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....60

Figura 20 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quinto Modo.....61

Figura 21 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....62

Figura 22 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....62

Figura 23 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....63

Figura 24 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....64

Figura 25 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....65

Figura 26 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....65

Figura 27 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....66

Figura 28 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....67

Figura 29 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo..... 68

Figura 30 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.....68

Figura 31 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....69

Figura 32 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....69

Figura 33 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....71

Figura 34 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.....72

Figura 35 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....72

Figura 36 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....73

Figura 37 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....74

Figura 38 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.....75

Figura 39 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....75

Figura 40 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quinto Modo.....76

Figura 41 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....77

Figura 42 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.....77

Figura 43 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....78

Figura 44 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.....79

Figura 45 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....80

Figura 46 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....80

Figura 47 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....81

Figura 48 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Sexto Modo.....82

Figura 49 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....82

Figura 50 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.....83

Figura 51 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal de 20-100 dias – sem rotação, para o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....84

Figura 52 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....84

Figura 53 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....85

Figura 54 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.....86

Figura 55 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....87

Figura 56 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.....88

Figura 57 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.....89

Figura 58 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.....90

Figura 59 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....90

Figura 60 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.....91

Figura 61 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda interanual, no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....92

Figura 62 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.....93

Figura 63 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....93

Figura 64 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.....94

Figura 65 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....95

Figura 66 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda interanual no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.....95

Figura 67 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....96

Figura 68 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA na banda interanual no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....97

Figura 69 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....97

Figura 70 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....98

Figura 71 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....99

Figura 72 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....99

Figura 73 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....100

Figura 74 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....100

Figura 75 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....101

Figura 76 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....101

Figura 77 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....102

Figura 78 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.....103

Figura 79 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.....104

Figura 80 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.....105

Figura 81 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....105

Figura 82 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.....106

Figura 83 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....107

Figura 84 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.....108

Figura 85 – Exemplo dos três modos encontrados nas bandas de frequência.....109

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Análise das séries temporais na banda sinótica, com a contagem do número de eventos secos e chuvosos para os três conjuntos de dados.....110
- Tabela 2** - Análise das séries temporais na banda intrasazonal, com a contagem do número de eventos secos e chuvosos para os três conjuntos de dados.....112
- Tabela 3** - Análise das séries temporais na banda interanual, com a contagem do número de eventos secos e chuvosos para os três conjuntos de dados.....113
- Tabela 4** - Comparativo entre os três conjuntos de dados para o Modo Sul na Escala Sinótica, com os respectivos modos de variabilidade encontrados para as quatro estações do ano.....117
- Tabela 5** - Comparativo entre os três conjuntos de dados para o Modo PR na Escala Sinótica, com os respectivos modos de variabilidade encontrados para as quatro estações do ano.....118
- Tabela 6** - Comparativo entre os três conjuntos de dados para o Modo Sul na Escala Intrasazonal, com os respectivos modos de variabilidade encontrados para as quatro estações do ano.....119
- Tabela 7** - Comparativo entre os três conjuntos de dados para o Modo PR na Escala Intrazasonal, com os respectivos modos de variabilidade encontrados para as quatro estações do ano.....120
- Tabela 8** - Comparativo entre os três conjuntos de dados para o Modo Niño na Escala Interanual, com os respectivos modos de variabilidade encontrados para as quatro estações do ano.....121
- Tabela 9** - Comparativo entre os três conjuntos de dados para o Modo PR na Escala Sinótica, com os respectivos modos de variabilidade encontrados para as quatro estações do ano.....121

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	23
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2 DADOS E METODOLOGIA	31
2.1 Dados do Clima Presente	31
2.2. Comparação com os Dados de Modelo	32
2.2.1 Descrição do Modelo RegCM3.....	33
2.3 Dados do Clima Futuro	35
2.3.1 Dados do Projeto PROBIO.....	35
2.4 análise de Tendência	35
2.5 Filtragem dos Dados	38
2.5.1 Filtro de Lanczos.....	39
2.6 Cálculo dos Modos de Variabilidade	40
2.6.1 Análise de Componentes Principais.....	41
2.6.2 Componentes Principais com Rotação.....	43
3 RESULTADOS	44
3.1 Análise de Tendência de Índices Climáticos	44
3.1.1 Comparação entre as Tendências dos Dados PREC_LA, a Simulação do Modelo para os Dados do Clima Presente PREC_RE e a Simulação para os Dados de Clima Futuro PREC_FU	44
3.2 Análise de Componentes Principais – Comparação entre os Dados PREC_LA, PREC_RE e PREC_FU	55
3.2.1 Banda Sinótica.....	55
3.2.2 Banda Intrasazonal.....	73
3.2.3 Banda Interanual.....	91
3.4 Comparação entre as Séries de Componentes Principais dos Três Padrões encontrados	109

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
5 PERSPECTIVAS.....	123
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124

INTRODUÇÃO

Estudos de tendências climáticas têm sido desenvolvidos em nível regional, porém em certas regiões limitadas (p. ex., Amazônia, Nordeste e sul do Brasil), devido ao difícil acesso a informação climática e hidrológica. A região Sul do Brasil tem a base de sua economia fortemente dependente da produção agrícola e a variabilidade climática é uma característica no Rio Grande do Sul. A produção agropecuária do Rio Grande do Sul tem no clima o principal fator responsável por quebras de safras, e assim tem-se a necessidade de um estudo mais detalhado sobre as tendências climáticas.

O Rio Grande do Sul situa-se em uma região latitudinal favorável à atuação de diversos fenômenos que afetam o Tempo e o Clima deste estado, como por exemplo, as frentes frias e o fenômeno El Niño. Considerando os fenômenos de escala sinótica, têm-se as frentes frias que passam regularmente pelo estado favorecendo a boa distribuição espacial e temporal das chuvas, conforme mostrado em Cera e Ferraz (2007). Fenômenos de escala intrasazonal como a Oscilação de Madden e Julian (OMJ) também influenciam indiretamente a precipitação no estado (Ferraz, 2004).

Na escala global, observam-se as influências remotas dos Oceanos Atlântico e Pacífico no regime das chuvas no Sul do Brasil. Em um padrão de baixa frequência, têm-se os fenômenos: El Niño e La Niña, devido ao aquecimento e resfriamento anômalo das águas do Oceano Pacífico Equatorial, respectivamente. Associado a estes dois fenômenos tem-se o Índice de Oscilação Sul (IOS) que representa um fenômeno de grande escala caracterizado pela diferença da Pressão ao Nível do Mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico Oeste (Darwin/Austrália), causando o enfraquecimento ou intensificação dos ventos alísios sobre o Oceano Pacífico Equatorial. O acoplamento destes dois fenômenos oceânico e atmosférico nesta região é chamado de El Niño Oscilação Sul (ENOS). A variação anômala destas componentes mostra duas fases opostas do ENOS que em média tem periodicidade de quatro a sete anos e duração média de doze a dezoito meses.

Além destes, modos de variabilidade de baixíssima frequência como a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) possuem importantes teleconexões climáticas, que assim como o fenômeno ENOS apresenta suas fases quente e fria (Cera et. al.,

2009). Este fenômeno de escala decadal superposto a um fenômeno de escala interanual, como o ENOS pode alterar o efeito deste em algumas regiões do globo, inclusive na América do Sul (Kayano et al ,2009).

Além de todas as variabilidades naturais que afetam o Clima na América do Sul há sugestões de possíveis alterações no Clima relacionadas a efeitos antropogênicos. Em 1990, no primeiro relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC na sigla em Inglês Intergovernmental Panel on Climate Change), sugeriu-se um aumento da temperatura global média entre 0,15°C e 0,3°C por década de 1990-2005, o que pôde ser confirmado com valores observados de aproximadamente 0,2°C por década, fortalecendo a confiança em projeções de curto prazo. De forma geral, as previsões para temperatura são mais reveladoras e a consistência entre os modelos é maior. Em relação à precipitação, não são tão conclusivas, pois dependem dos modelos e das regiões consideradas (Marengo, 2009).

Levando em conta esta razoável confiabilidade dos modelos pretende-se determinar, de forma abrangente, as possíveis conseqüências que as mudanças climáticas, na variável precipitação afetam as culturas agrícolas, e como elas podem impactar sobre a população e a economia do Rio Grande do Sul. As variáveis analisadas são decorrentes de integrações de longo prazo para avaliação das condições climáticas do Rio Grande do Sul sob diferentes cenários.

O trabalho objetivou determinar os principais padrões de precipitação que afetam o Tempo e o Clima no Sul do Brasil e verificar se estes padrões são reproduzidos em modelos regionais climáticos no clima presente e em cenários de clima futuro.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Rio Grande do Sul possui um regime de chuvas bem distribuído, com totais anuais entre 1250 mm e 2000 mm com diferentes períodos de estação chuvosa, com picos da mesma durante todo o ano (Oliveira, 1986). Cera et al. (2007) mostraram que o Estado apresenta diferenças durante a estação chuvosa, muitas vezes influenciados pelo relevo. Vários sistemas meteorológicos, de diferentes escalas temporais e freqüências, influenciam a chuva no Rio Grande do Sul.

As frentes frias afetam o tempo sobre a América do Sul durante todo o ano, com deslocamento de sudoeste para nordeste sobre o continente e Oceano Atlântico adjacente, sendo a principal fonte de chuvas no Sul do Brasil. Durante o inverno, esses sistemas são acompanhados de massas de ar de latitudes altas que causam geadas e friagens no Sul e Sudeste do Brasil (Cavalcanti e Kousky, 2009). Há uma sazonalidade na ocorrência de passagens de frentes frias, que são mais freqüentes nos meses de maio a setembro e menos freqüentes durante o verão do Hemisfério Sul.

Andrade e Cavalcanti (2004) e Cavalcanti e Kousky (2003) fizeram uma climatologia da passagem de frentes frias sobre várias áreas da América do Sul utilizando métodos parecidos para a identificação dos sistemas frontais, como aumento de pressão, queda de temperatura e mudança na componente meridional do vento em 925 hPa. Os autores observaram uma diminuição da freqüência dos sistemas das latitudes mais altas para as mais baixas.

Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), definidos por Maddox (1980), possuem uma espessa cobertura de nuvens frias, com forma aproximadamente circular e tempo de vida de aproximadamente seis horas. Segundo Grimm (2009), tanto durante o verão como nas estações de transição (ou, semestre quente), os CCMs são freqüentes e respondem por grande parte da precipitação total do Rio Grande do Sul. Eles comumente ocorrem sobre o continente a sotavento das cadeias montanhosas (Andes) sendo associado com a ocorrência de jato de baixos níveis, dando importante contribuição para a precipitação local, bem como para o balanço hidrológico global (Anabor, 2008).

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) são sistemas meteorológicos caracterizados por centros de pressão relativamente baixa que se originam na alta troposfera e se estendem até os níveis médios, dependendo da instabilidade atmosférica (Ferreira et al., 2009). Na literatura esse sistema também é conhecido como Baixa Fria, Baixa Desprendida, Baixa de Palmém, etc. Os VCANs do tipo Palmem (de origem subtropical) formam-se em qualquer época do ano e geralmente desenvolvem-se sobre o Oceano Pacífico Sul e, muitas vezes, ao cruzarem os Andes, esses sistemas provocam chuva e ventos fortes e, dependendo da intensidade e permanência, causam sérios problemas locais e regionais no Uruguai, Argentina, Paraguai e região Sul do Brasil (Reinke et AL., 2006).

A Cordilheira dos Andes tem papel fundamental no escoamento de norte em baixos níveis, pois ela estende-se desde a região Tropical até latitudes mais altas, bloqueando a circulação em baixos níveis no sentido zonal e provocando uma canalização do vento (Marengo et al., 2009). O Jato de Baixos Níveis (JBN) está presente em várias regiões do globo, com fortes fluxos meridionais na baixa troposfera ao longo de cadeias montanhosas que transportam calor sensível e latente, gera turbulência por meio do cisalhamento e participa ativamente como mecanismo disparador da instabilidade para a formação de tempestades severas no Sudeste e Sul do Brasil. Este canal de umidade contribui para a formação dos CCMs no Paraguai e Norte da Argentina, que geralmente são advectados para o Rio Grande do Sul, Calbete et al. (2002) mostraram que há interação entre a corrente de Jato em Baixos Níveis e a formação dos Complexos Convectivos de Mesoescala.

Gan e Rao (1994) fizeram uma análise de autocorrelação geopotencial não filtradas, utilizando um ponto de grade base para o Leste dos Andes e mostraram um padrão de onda que representa bem o padrão de anomalias de baixa frequência. Este padrão de ondas propaga-se para leste e mostra efeitos orográficos após cruzar os Andes, com leve inclinação para oeste na vertical sobre o Oceano Pacífico e uma forte inclinação para oeste na vertical sobre a parte leste dos Andes indicando o efeito de baroclinicidade que muitas vezes resulta na presença de ciclogênese no lado sotavento dos Andes.

Na escala global, observam-se as influências remotas dos Oceanos Pacífico e Atlântico no regime das chuvas no Sul do Brasil. Considerando um padrão de mais baixa frequência, têm-se dois fenômenos: El Niño e La Niña.

Em anos normais, isto é, sem ocorrência de El Niño ou La Niña, as águas mais aquecidas são observadas junto ao Oceano Pacífico Equatorial Oeste e um pouco mais frias na costa Oeste da América do Sul. Com isso há mais evaporação no Pacífico Oeste e por conseqüência formação de nuvens. Desse modo, a célula de circulação com movimentos ascendentes no Pacífico Equatorial Oeste e movimentos descendentes no Oeste da América do Sul e com ventos de leste para oeste próximos à superfície (alísios) e de oeste para leste em alto níveis da troposfera é chamada de Célula de Walker.

O fenômeno conhecido como El Niño representa o aquecimento anormal das águas superficiais e sub-superficiais do Oceano Pacífico Equatorial, sendo que este aquecimento vai desde a costa do Peru e Equador estendendo-se até o Pacífico Equatorial Central. O Índice de Oscilação Sul (IOS) representa um fenômeno de grande escala caracterizado pela diferença da Pressão ao Nível do Mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico Oeste (Darwin/Austrália), acompanhado pelo enfraquecimento ou intensificação dos ventos alísios sobre o Oceano Pacífico Equatorial. De modo que, valores negativos do IOS estão associados ao El Niño (ou seja, aquecimento do Oceano Pacífico) e valores positivos à La Niña (resfriamento do Oceano Pacífico). O acoplamento destes dois fenômenos oceânico e atmosférico nesta região é chamado de El Niño Oscilação Sul (ENOS).

A fase quente (El Niño – EN) é caracterizada quando o aquecimento das águas ocorre simultaneamente com a diminuição da pressão atmosférica no Pacífico Leste. Este acoplamento produz alterações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), na pressão, nos ventos e na convecção tropical, principalmente no Oceano Pacífico. Ocorrem mudanças também de circulação zonal, de modo que em condições de El Niño a Célula de Walker enfraquece, sendo que em eventos fortes pode até desaparecer. Com o ar ascendendo no centro-leste do Pacífico e descendendo no Pacífico Oeste e Norte da América do Sul a área com maior convecção se concentra no Pacífico Central. Grimm (2003) verificou a influência do El Niño na circulação monsonica de verão, precipitação e temperatura, concluindo que as anomalias de precipitação são favorecidas pela perturbação na circulação das Células de Walker e Hadley sobre o Oceano Pacífico Leste e América do Sul, e pelos trens de ondas de Rossby sobre o Sul da América do Sul que se originam no Pacífico Leste.

Já a fase fria (La Niña – LN) é caracterizada quando o resfriamento anômalo das águas e o aumento da pressão atmosférica no Pacífico Leste ocorrem simultaneamente. A circulação da Célula de Walker muda, com um ramo ascendente sobre o Pacífico Oeste e Austrália favorecendo as chuvas nestas regiões e o ramo descendente posiciona-se sobre o Pacífico Leste inibindo a convecção nessa região. Com este comportamento da circulação há uma intensificação dos ventos alísios no Pacífico equatorial.

As duas fases do ENOS provocam mudanças na circulação de todo o globo. No caso do El Niño tem-se um aumento no volume das chuvas na costa do Peru, meio Oeste dos EUA e Sul e Sudeste do Brasil e secas na Índia, Austrália, Indonésia, África e nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. No Rio Grande do sul, de modo geral, tem-se precipitação superior à média climatológica na primavera, principalmente Outubro e Novembro e temperatura abaixo da média no inverno (Hopelewski e Halpert, 1987, Grimm et. al., 1998).

Durante o fenômeno La Niña uma grande área sobre a Indonésia (incluindo parte do Oceano Índico e Pacífico) concentra altos índices pluviométricos, enquanto na região do Pacífico Equatorial Central e Oriental há redução no volume de precipitação. Durante estes eventos o Rio Grande do Sul fica mais vulnerável a longos períodos de estiagem (principalmente na primavera, segundo Grimm et al (1996)), e verões com temperatura abaixo da climatologia no ano posterior ao evento.

Diaz et. al. (1998) mostraram que existe relação significativa entre as anomalias de chuva no Sul do Brasil e TSM nos Oceanos Atlântico e Pacífico. Os autores usaram no seu estudo a precipitação da região do Uruguai e Rio Grande do Sul e encontraram que a distribuição da precipitação total na região tende a ser uniformemente distribuída durante o ano, com maiores índices concentram-se em Setembro e Outubro e um máximo secundário em Novembro e Dezembro. E em todos os períodos analisados encontraram que a variabilidade das chuvas no Uruguai e RS estão relacionadas às anomalias de TSM em ambos os Oceanos Atlântico e Pacífico.

Em seu estudo Montecinos et al. (2000) mostraram que anomalias de precipitação relacionadas ao ENOS na América do Sul Subtropical estão restritas principalmente as regiões no lado Leste e Oeste do continente e principalmente durante a segunda metade do ano, com uma relação do tipo quente-chuvoso

(EN)/frio-seco (LN). Uma região com sinal semelhante é detectada no Sudeste da América do Sul na primavera, incluindo Sul do Brasil, Sul do Paraguai, Uruguai e Leste da Argentina. A sazonalidade e o padrão espacial da previsibilidade de chuvas na América do Sul subtropical baseada na TSM do Pacífico tropical mostra que o nível de significância de previsibilidade é encontrada em regiões e períodos quinzenais quando uma significativa relação entre precipitação e TSM existe, indicando que a persistência de anomalias de TSM no Pacífico Tropical é a principal fonte da previsibilidade de chuvas sazonais.

Também fenômenos de escala intrasazonal como a Oscilação de Madden e Julian (OMJ) afetam indiretamente a precipitação na região Sul do Brasil. Esta oscilação caracteriza-se pelo deslocamento para leste ao redor do globo de uma célula zonal de grande escala termicamente direta que causa variações na convecção tropical. Na América do Sul, a OMJ tem relação com a posição e intensidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Souza e Ambrizzi (2006) usaram 15 anos de dados para descrever a variabilidade da precipitação sobre o Brasil tropical, e composições revelaram que, na escala global, a OMJ é o principal mecanismo atmosférico modulador das variações pluviométricas na escala de tempo intrasazonal no Leste da Amazônia e Nordeste do Brasil. Eles notaram que a banda convectiva orientada no sentido NW-SE lembra o típico aspecto relacionado a ZCAS, que também interage com a convecção relacionada a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), por isso, estas compõem o principal mecanismo regional responsável em favorecer anomalias de precipitação positivas observadas nestas regiões do Brasil durante o pico dos eventos intrasazonais.

Casarin e Kousky (1986) concluíram que as semelhanças entre anomalias no escoamento de Leste e nebulosidade são sinais de que a seca no Sul do Brasil está relacionada com as anomalias que ocorrem na atmosfera global e com as variações intrasazonais de aproximadamente 30 a 60 dias (ou seja, a OMJ). Segundo estes autores um padrão de dipolo é estabelecido durante a fase ativa da ZCAS acompanhado de uma diminuição da precipitação no Sul do Brasil, Uruguai e Nordeste da Argentina. Este resultado foi posteriormente confirmado por Paegle et al (1997 e 2000) e Ferraz (2000, 2004), entre outros.

Modos de variabilidade climática de baixa frequência, com escalas decadais também apresentam importantes teleconexões climáticas. Estes modos ocorrem no

Pacífico e Atlântico, e, superpostos aos modos interanuais, como o ENOS, podem alterar o efeito deste em algumas regiões do globo, inclusive na América do Sul.

Um exemplo de variabilidade decadal (20 a 30 anos) definida por Mantua et al (1997) como a mudança entre as fases quente e fria das águas do Pacífico é a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Ela ocorre quando as águas da região tropical e a costa do continente Norte Americano se tornam mais quentes (frias), enquanto a região extratropical fica mais fria (quente), e são chamadas de fase positiva e negativa, respectivamente. A fase positiva (ou fase quente) compreendeu os períodos entre 1925-1946 e 1977-1998 e a fase negativa (ou fase fria) nos períodos de 1890-1924, 1947-1976 e 1999 até o presente momento.

A similaridade dos padrões anômalos de TSM, ventos e Pressão ao Nível do Mar (PNM) associados ao ENOS e à ODP levou alguns autores a considerar a ODP como um padrão de tipo ENOS de mais longa duração. Na fase fria da ODP, os eventos têm frequências equivalentes e, na fase quente, os eventos El Niño são mais freqüentes e mais intensos (Kayano e Andreoli, 2009). Andreoli e Kayano (2005) fizeram algumas composições relacionadas ao El Niño e às fases quente e fria da ODP durante ND⁰ (Novembro e Dezembro do ano do evento) e JF⁺ (Janeiro e Fevereiro do ano posterior ao evento) e encontraram diferenças relacionadas às fases da ODP bem como diferenças sazonais. Os resultados indicam fortes indícios de que a resposta climática relacionada ao ENOS na América do Sul depende das fases da ODP. E Andreoli e Kayano (2007) relacionaram a variabilidade das chuvas sobre a América do Sul e o ENOS de acordo com as fases quente, normal e fria da ODP e encontraram que a diferença nas teleconexões de ENOS das chuvas na América do Sul estão relacionadas à ODP, que age construtivamente (destrutivamente) quando o ENOS e ODP estão na mesma (oposta) fase.

O Índice da ODP (IODP) foi desenvolvido por Hare et al (1999) e Zhang et al (1997) e é definido como a diferença entre as anomalias observadas e a média mensal global da anomalia da TSM. No Rio Grande do Sul é a região Nordeste que possui maior influência do IODP no período de 1960 a 1975, na qual compreendeu a fase fria da ODP (Cera et al, 2009).

2 DADOS E METODOLOGIA

Para este estudo foram utilizados dados diários de precipitação de estações pluviométricas para o clima presente e futuro. Para o clima presente foram utilizados dados observados e dados simulados pelo Modelo Regional RegCM3 para o mesmo período: 1981 a 2007 e, para o clima futuro foram utilizados dados no período de 2070 a 2086. Com estes três conjuntos de dados serão analisadas as tendências de precipitação e calculados modos de variabilidade de precipitação para a região Sul do Brasil.

A seguir, é apresentada uma breve descrição de cada conjunto de dados.

2.1 Dados do Clima Presente

Os dados de precipitação foram obtidos do conjunto de dados de Liebmann e Allured e estão combinados na forma de campos diários de precipitação, com espaçamento de grade de $1^\circ \times 1^\circ$ e $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ para o período de 1940-2008. Os campos de grade possuem cerca de 7900 estações, onde a maioria dos registros é inferior ao período de 65 anos, com algumas observações faltantes. A maioria das estações está localizada a Leste da Cordilheira dos Andes, sendo que o Brasil possui a maior quantidade e densidade de estações. O número de estações aumentou gradualmente entre 1940 e 1961, e em 1962, algumas centenas de estações foram adicionadas e esta tendência de aumento continuou até 1983, e desde então há um declínio quase contínuo. Um dos problemas mais graves encontrados envolve falhas nos dados da estação original, que por consequência levam a suposições e diferenças na interpretação final dos resultados (Liebmann e Allured, 2005).

Para facilitar a interpretação, cada ponto de grade de $1^\circ \times 1^\circ$ foi considerado como uma única estação (para os três conjuntos de dados citados acima, clima presente, modelo e clima futuro). Além disso, para ter uma maior credibilidade nos resultados foi retirada aquelas estações que continham mais de 20% de dados

faltantes, para o caso dos dados de precipitação diária de Liebmann e Allured. Dessa forma, obteve-se um total de 225 estações que são mostradas na figura 1.

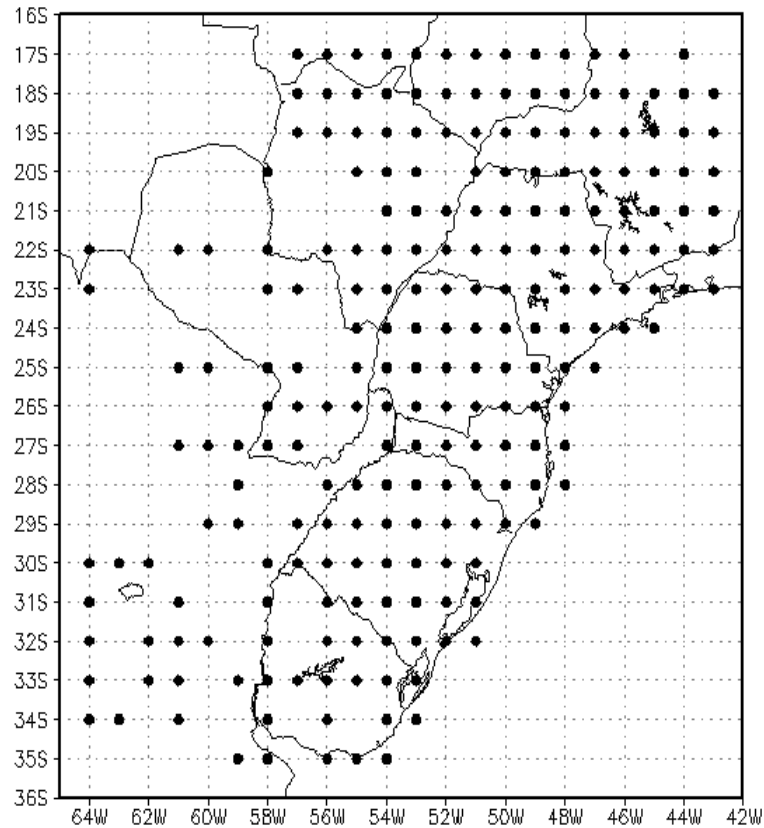


Figura 1: Localização das 225 estações utilizadas no estudo.

2.2 Comparação com os Dados de Modelo

Os dados de precipitação do conjunto de dados de Liebmann e Allured foram comparados com os dados simulados por um Modelo Climático Regional, a fim de se verificar se os dados utilizados para a simulação de clima futuro estão coerentes com os dados reais.

A análise foi feita em rodadas regionais do Modelo Climático Regional ICTP (International Centre for Theoretical Physics) – RegCM3 para o clima presente (1982 à 2006). Estas rodadas são provenientes de uma parceria entre o Grupo de Pesquisas em Clima da UFSM e o Departamento de Ciências Atmosféricas da

Universidade de São Paulo (Dr. Tércio Ambrizzi e Dra. Rosmeri Porfírio da Rocha) - Projeto Universal 472641/ 2006-9.

2.2.1 Descrição do Modelo RegCM3

O modelo RegCM (Giorgi et al., 1993 a-b) originou-se no NCAR (National Center for Atmospheric Research) a partir do Mesoscale Model version 4 (MM4, Anthes et al. 1987).

Para descrever os processos de interação solo-planta-atmosfera o RegCM utiliza o esquema BATS (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme; Dickinson et al. 1993). Este esquema considera a presença de vegetação e a interação com o solo nas trocas turbulentas de momento, energia e vapor d'água entre a superfície e atmosfera. Atualmente, o BATS possui uma camada de vegetação, uma de neve e três camadas de solo em diferentes profundidades: uma de 10 cm de espessura, uma na zona radicular (2 m de espessura) e uma de solo profundo (3 m de espessura). Na presença de vegetação, as temperaturas do ar no dossel e na folhagem são diagnosticadas através do balanço de energia. O ciclo hidrológico é obtido através de equações de previsão do conteúdo de água nas três camadas de solo. Os fluxos de calor, vapor d'água e momento na superfície são calculados em função dos coeficientes de arrastos obtidos da teoria da similaridade aplicada à camada superficial. Os transportes turbulentos de calor, momento e umidade na camada limite planetária (CLP) resultam do produto entre o gradiente vertical destas variáveis e o coeficiente de difusão vertical turbulenta com correções para turbulência não local, propostas por Holtslag et al. (1990).

Para a transferência radiativa o RegCM utiliza o mesmo esquema do CCM3 (Community Climate Model 3; Kiehl et al., 1996). Neste esquema são calculadas separadamente as taxas de aquecimento e fluxos na superfície para a radiação solar e infravermelho sob condições de céu claro e nublado. Os cálculos de transferência radiativa consideram os efeitos dos gases CO₂, H₂O, O₃ no infravermelho e dos gases CO₂, H₂O, O₃ e O₂ para radiação solar. O CCM3 considera também os efeitos dos gases de efeito estufa (NO₂, CH₄, CFCs), aerossóis atmosféricos e água de nuvem.

Os processos úmidos no RegCM são resolvidos através de um esquema para a convecção em cumulus profundo e outro para a precipitação na escala da grade. Atualmente, os esquemas de cumulus disponíveis no RegCM são: Grell (1993), Kuo (Anthes, 1977), Emanuel (1991) e Betts-Miller (1986). As simulações analisadas aqui utilizaram o esquema de Grell com o fechamento de Fritsch-Chappell (Elguindi et al. 2004). Este esquema foi utilizado, pois foi o que apresentou melhores resultados ao reproduzir a precipitação do RS (Guerra e Ferraz, 2010). No esquema de Grell (1993) as nuvens convectivas profundas são representadas por um fluxo ascendente (“updraft”) e por um fluxo descendente (“downdraft”) que são inseparáveis e que se misturam com o ar ambiente somente na base e no topo da nuvem. O aquecimento e os perfis de umidade são derivados da liberação ou absorção de calor latente, ligado com os fluxos updraft/downdraft e movimentos de compensação. O esquema de Grell usa o fechamento convectivo de Fritsch-Chappell (Fritsch e Chappell, 1980) que considera que a energia disponível é dissipada durante um período de tempo convectivo especificado (entre 30 minutos e 1 hora).

O esquema na escala da grade, descrito em detalhes em Pal et al. (2004), possui apenas uma equação para previsão de água de nuvem que é então diretamente utilizada nos cálculos de transferência radiativa. Este esquema considera formação de água de nuvem, advecção e mistura turbulenta, re- evaporação em condições sub-saturadas, acreção e conversão para precipitação através de um termo de autoconversão.

Nas fronteiras laterais do RegCM utilizou-se a relaxação exponencial entre as previsões do modelo e as re-análises do NCEP. Giorgi et al. (1993) mostraram que a relaxação exponencial permite uma transição mais suave entre a previsão do modelo e os campos de fronteira implicando em um impacto positivo na simulação.

Para os experimentos numéricos com o RegCM a topografia e tipo de cobertura do solo do USGS (United States Geological Survey) e GLCC (Global Land Cover Characterization; Loveland et al. 2000), respectivamente, com 10’ de resolução horizontal, foram interpoladas para a grade do RegCM para fornecer a condição de contorno inferior sobre o continente.

A escolha do domínio e resolução horizontal são fatores críticos em estudos com modelos climáticos regionais. Normalmente, estes dois aspectos são escolhidos

levando-se em conta os aspectos de resolver os principais sistemas atmosféricos atuantes e a disponibilidade computacional.

2.3 Dados de Clima Futuro

Para a comparação com os dados de clima futuro, foi usado o período de 2070 a 2086. Para este procedimento foram usados os dados oriundos das rodadas climáticas regionais do Projeto PROBIO (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira) realizadas no IAG/USP, utilizando o Modelo RegCM.

2.3.1 Dados do Projeto PROBIO

Este projeto, liderado pelo pesquisador José Marengo (Marengo, 2006), teve como objetivo fornecer informação técnico-científica sobre as possíveis mudanças climáticas sobre o território brasileiro que já aconteceram e podem vir a acontecer nos próximos cem anos. Para isto, foram analisados diversos cenários climáticos com diferentes concentrações de gases de efeito estufa (ou cenários SRES – Special Report on Emissions Scenarios) dos modelos do Intergovernmental Panel on Climate Changes (IPCC). Porém, devido a estes modelos apresentarem baixa resolução, por serem modelos globais, e pela necessidade de se ter resultados mais específicos e detalhados, foi feita uma regionalização (downscaling dinâmico) utilizando como base o modelo acoplado oceano-atmosfera do Hadley Center (HadCM3) e o modelo climático regional RegCM3. A regionalização foi feita para escala de 0,5º latitude x 0,5º longitude.

2.4 Análise de Tendência

Foram calculados índices de extremos climáticos para o monitoramento e detecção de alterações climáticas para os três conjuntos de dados apresentados anteriormente, tendo como base a climatologia de 1961a 1990. Como ferramenta foi utilizado o software Climdex desenvolvido por Byron Gleason do National Climate Data Centre (NCDC) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Do acoplamento entre o Climdex e o aplicativo R (<http://www.r-project.org>) surgiu o pacote RCLimdex, que é um software livre com linguagem e ambiente para a análise estatística e computação gráfica (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI>). O RCLimdex possui 27 índices básicos recomendados pela equipe de técnicos do Climate Variability and Predictability (CCI/CLIVAR) para “Climate Change Detection Monitoring and Indices” (ETCCDMI), incluindo índices de temperatura e precipitação com limites definidos pelo usuário. Neste estudo foram utilizados os índices de precipitação abaixo, em uma análise anual com dados diários de precipitação:

(1) CDD – Dias Consecutivos Secos.

Seja RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i no período j . O índice de extremo climático CDD indica o número máximo de dias consecutivos em que a chuva diária foi menor que 1mm ($RR_{ij} < 1\text{mm}$) no período j . Portanto, o índice CDD define períodos de seca excessiva. A unidade do índice CDD é dia.

Então, conta-se o maior número de dias consecutivos com:

$$RR_{ij} < 1\text{mm}$$

(2) CWD – Dias Consecutivos Úmidos.

Seja RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i , no período j . O índice de extremo climático CWD indica o número máximo de dias consecutivos em que a chuva diária foi maior ou igual a 1mm ($RR_{ij} \geq 1\text{mm}$) no período j . Assim, o índice CWD define períodos de excessiva umidade, com unidade em dias.

Então, conta-se o maior número de dias consecutivos com:

$$RR_{ij} \geq 1\text{mm}$$

(3) PRCPTOT – Precipitação Total Anual nos dias úmidos.

Seja RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i no período j . Se I representa o número de dias em j (a unidade de PRCPTOT é em mm), então:

$$PRCPTOTj = \sum_{i=1}^I RR_{ij} .$$

(4) R10mm – Contagem Anual de Dias em que $RR > 10mm$.

Seja a quantidade de precipitação diária no dia i no período j , então:

$$RR_{ij} \geq 10mm$$

(5) R20mm – Contagem Anual de Dias em que $RR > 20mm$.

Seja a quantidade de precipitação diária no dia i no período j , então:

$$RR_{ij} \geq 20mm$$

(6) R25mm – Contagem Anual de Dias em que $RR > 25mm$.

Seja a quantidade de precipitação diária no dia i no período j , então:

$$RR_{ij} \geq 25mm$$

(7) R95p – Precipitação Total Anual quando $RR >$ percentil 95.

O índice climático R95p corresponde ao extremo direito da cauda de distribuição de chuva, ou seja, representa os dias muito úmidos. Seja RR_{wj} a quantidade diária de precipitação em um dia úmido w ($RR \geq 1mm$) no período j e seja RR_{wn95} o percentil 95 de precipitação nos dias úmidos no período 1961-1990. Se W representa o número de dias úmidos no período, então:

$$R95pj = \sum_{w=1}^W RR_{wj} , \text{ onde } RR_{wj} > RR_{wn95}.$$

(8) R99p – Precipitação Total Anual quando $RR >$ percentil 99.

Seja RR_{wj} a quantidade de precipitação diária em um dia úmido w ($RR \geq 1mm$) no período j e seja RR_{wn99} o percentil 99 de precipitação nos dias úmidos no período de 1961-1990, representando os dias extremamente úmidos. Se W representa o número de dias úmidos no período, então:

$$R99p = \sum_{w=1}^W RR_{wj} , \text{ onde } RR_{wj} > RR_{wn99}.$$

(9) Rx1dia – Precipitação Máxima Mensal em um dia.

O índice de extremo climático Rx1dia representa a chuva máxima registrada em um único dia no período j (desta forma, o índice Rx1dia receberá o valor máximo de RR_{kj} no período j). Seja a quantidade de precipitação diária no dia i , no ano j .

O valor máximo de um dia para o período j é:

$$Rxdiaj = \max(RR_{ij})$$

(10) Rx5dia – Precipitação Máxima Mensal em cinco dias consecutivos.

O índice de extremo climático Rx5dia representa a chuva máxima registrada em cinco dias consecutivos no período j (desta forma, o índice Rx5dia receberá o valor máximo de RR_{kj} no período j). Seja RR_{kj} a quantidade de precipitação para o intervalo de cinco dias que termina em k , no ano j .

Então, os valores máximos para os cinco dias no ano j são:

$$Rx5diaj = \max(RR_{kj})$$

(11) SDII – Índice de Intensidade de Precipitação Simples.

Precipitação total dividida pelo número de dias úmidos. Se RR_{wj} é a quantidade de precipitação em dias úmidos, w ($RR \geq 1\text{mm}$) no período j . Se W representa o número de dias úmidos em j , então:

$$SDIIj = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$

2.5 Filtragem dos Dados

A fim de se reter a variabilidade sinótica e a variabilidade intrasazonal as séries foram filtradas utilizando-se o filtro de Lanczos (Duchon,1979) para as bandas de 2 a 20 dias e 20 e 100 dias. Para a variabilidade interanual, foi calculada a média anual da precipitação.

2.5.1 Filtro de Lanczos

O objetivo geral da filtragem de séries temporais é alterar a amplitude de Fourier que descrevem a série. Isto é obtido através da modificação de uma seqüência de dados fornecido utilizando pesos, para produzir uma seqüência de novos dados (Duchon, 1979).

O Filtro de Lanczos envolve a transformação de uma seqüência de dados de entrada x_t , onde t é o tempo, em uma seqüência de dados de saída y_t , utilizando a relação linear:

$$Y_t = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} w_k x_{t-k} \quad (1)$$

em que w_k é o peso escolhido.

A relação entre a entrada e a saída das funções de Fourier $X(f)$ e $Y(f)$, onde f é a freqüência, é obtida tomando-se a transformada de Fourier (1):

$$Y(f) = R(f).X(f), \quad (2)$$

sendo $R(f)$ a função resposta de freqüência. A função peso e a função resposta contêm um par de transformadas de Fourier:

$$R(f) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} w_k \exp(2ikf\pi\Delta), \quad (3)$$

$$w_k = \frac{1}{2f_n} \int_{-f_n}^{f_n} R(f) \exp(2ikf\pi\Delta) \partial f, \quad (4)$$

$$k = \dots, -1, 0, 1, \dots$$

sendo Δ é o intervalo de amostragem e f_n a freqüência de Nyquist, com valor de $\frac{1}{2}$ ciclo por intervalo de dados.

A função peso para o filtro passa-banda é:

$$w_k = \left(\frac{\text{sen } 2\pi f_{c2}}{\pi k} \right) - \left(\frac{\text{sen } 2\pi f_{c1}}{\pi k} \right) \quad (5)$$

$$K = n, \dots, 0, \dots, n,$$

sendo f_{c1} e f_{c2} os limites de freqüência que serão mantidos.

O numero mínimo de pesos para o filtro passa-banda necessário é:

$$n = \frac{1,3}{f_{c2} - f_{c1}} \quad (6)$$

Segundo Ferraz (2000), um número maior de pesos produz uma função resposta mais próxima da janela retangular ideal desejada. Porém, um maior número de pesos causa a perda de um maior número de dados nas extremidades da série a ser filtrada.

Por isso, o número de pesos escolhido para este cálculo foi de $n = 110$. Dessa forma, foram retirados 55 dias do início da série e 55 dias do final da série de dados.

2.6 Cálculo dos Modos de Variabilidade

Os dados de precipitação que foram submetidos à filtragem em bandas foram analisados através da análise de componentes principais para caracterizar as variabilidades nas três bandas durante as quatro estações do ano. E posteriormente, verificar como os modos são representados nos dados de precipitação, nos modelos climáticos e como eles variam no clima futuro.

2.6.1 Análise de Componentes Principais

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica estatística muito utilizada em Ciências Atmosféricas. Esta técnica tornou-se popular para a análise de dados atmosféricos após o trabalho de Lorenz (1956), que a chamou de análise de funções ortogonais empíricas (FOE).

A principal finalidade da ACP é reduzir de forma eficiente um conjunto de dados com grande número de variáveis, para um conjunto de dados com novas variáveis, em menor número, mas que representem uma grande fração da variância contida nos dados originais. Em outras palavras, é um procedimento matemático que transforma um conjunto de variáveis correlacionadas em um conjunto menor de variáveis não correlacionadas chamadas componentes principais. O primeiro componente principal (CP) é a combinação linear normalizada das variáveis originais, que representa a máxima fração ou porcentagem da variância, o segundo componente principal é aquela combinação linear que não está correlacionada com o primeiro e representa a maior parte da variância restante e assim por diante. Contudo, além da mera compressão de dados, a ACP é útil para estudar a variação espacial e temporal dos campos analisados (Wilks, 1995).

Dados atmosféricos possuem muitas correlações entre os campos das variáveis x_k , em que k é o número de variáveis, e n o número de observações (tamanho da série de precipitação), e a ACP proporcionará representações mais compactas de suas variáveis. Basicamente, a ACP é baseada na análise da matriz de variância e covariância [S].

$$[S] = \frac{1}{n-1} [X']^T [X'] \quad (7)$$

Esta matriz contém em sua diagonal as variâncias dos k elementos do vetor x , e as covariâncias dessas variáveis nos elementos fora da diagonal. A variância e covariância da matriz são relacionadas à matriz de correlação [R] por:

$$[R] = [R]^{-1}[S][D]^{-1} \quad (8)$$

Sendo [D] uma matriz diagonal e sua inversa também é diagonal cujos elementos são recíprocos do desvio padrão da diagonal de [D]. Isto mostra que [R] é produzida dividindo cada elemento de [S] pelos desvios padrões $\sqrt{S_{i,i}}$ e $\sqrt{S_{j,j}}$, das variáveis que ocupam a i-ésima linha e a j-ésima coluna.

Uma anomalia x'_k é obtida subtraindo de x_k o valor da média dos valores. Analogamente, o vetor anomalia é obtido de:

$$x' = x - \bar{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_k \end{bmatrix} \quad (9)$$

Anomalias diferem de seus dados originais apenas pelas suas médias e possuem a mesma dimensão das variáveis originais, variância e correlação. Desta forma, as matrizes de variância-covariância de x e x' são idênticas.

A nova variável u_m (componente principal) foi obtida através dos autovetores de [S], ou seja, a m-ésima componente principal u_m é obtida da projeção do vetor de dados x' no m-ésimo autovetor e_m .

$$e_m = e_m^T x' = \sum_{k=1}^k e_{km} x'_k, m = 1, \dots, M \quad (10)$$

Assim, os autovetores definem um novo sistema de coordenadas na qual se vêem os dados. Cada autovetor e_m possui K elementos que tem correspondência a cada uma das K regiões e pode ser representado sobre um mapa. Este mapa mostra quais localizações contribuem mais ao respectivo componente principal e quais são as anomalias simultâneas representadas por esse componente principal.

Os autovetores representam a distribuição espacial dos modos de variabilidade do campo analisado.

2.6.2 Componentes Principais com Rotação

Em uma análise sem rotação a orientação do primeiro autovetor no espaço K-dimensional é determinada pela direção da máxima variação nos dados; os autovetores subseqüentes precisam ser ortogonais aos anteriormente determinados, sem consideração aos processos físicos que dão origem aos dados. Como estes processos subjacentes não são independentes, a interpretação de que os componentes principais correspondentes são modos de variabilidade independentes não é correta. Embora o primeiro componente principal possa representar um modo importante de variabilidade ou processo físico, este pode incluir aspectos de outros modos ou processos, ou seja, a influência de diversos processos físicos pode estar misturada em um só componente principal (Wilks, 1995).

Portanto, neste tipo de análise, as variáveis se difundem em grupos em que estão altamente correlacionadas, de modo que uma mesma influência poderia ser designada para cada uma das variáveis no grupo. Rotacionar os autovetores para posições em que eles expliquem a maior parte da variância desses grupos facilita a interpretação física de cada componente principal e mostra uma influência que não está relacionada a outras influências associadas aos outros grupos. Assim, a rotação a ser utilizada no trabalho é a Rotação Ortogonal Varimax. É uma rotação ortogonal algebricamente mais eficaz, quando aplicada a uma série de dados conhecidos (Rummel, 1970 ; Mulaik, 1972; Harman, 1976).

No próximo capítulo serão apresentados os resultados encontrados a respeito das tendências para os índices de precipitação, os modos encontrados para os três conjuntos de dados e uma análise das séries temporais para os eventos extremos secos e chuvosos.

3 RESULTADOS

3.1 Análises de Tendência de Índices Climáticos

Como forma de validação dos dados foi realizada uma análise para o conjunto de dados de Liebmann e Allured (2005) e para o conjunto de dados simulados pelo modelo RegCM3, para o período de 1960 a 2007, e, posteriormente para o conjunto de dados de clima futuro para o período de 2070 a 2086. A partir deste momento estes dados serão denominados PREC_LA, PREC_RE e PREC_FU, respectivamente. A tendência para os dados PREC_FU será analisada apenas considerando os 16 anos de dados.

3.1.1 Comparação entre as Tendências dos Dados PREC_LA, a Simulação do Modelo para os Dados do Clima Presente PREC_RE e a Simulação para os Dados de Clima Futuro PREC_FU

As tendências anuais médias (positivas e negativas) em cada ponto de grade foram agrupadas para cada um dos 11 índices, assim cada índice corresponde a uma figura com a tendência média de todo o período.

Houve uma tendência de diminuição no número de dias consecutivos secos (figura 2 a) sobre grande parte do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. Estas regiões com tendências negativas estão de acordo com o padrão encontrado para os dados do modelo, que simulou uma tendência negativa para o número de Dias Consecutivos Secos em toda a área de estudo (figura 2 b), mas nas demais regiões observaram-se diferenças nas tendências. Os resultados de PREC_RE concordam com os encontrados por Haylock et al (2006, a partir daqui apenas HK06) que mostrou tendências negativas em todo o Sul do Brasil e não apenas no Sul do Paraná e em Santa Catarina como é apresentado nos dados PREC_LA. Estas diferenças podem estar relacionadas ao período de análise (no trabalho de

HK06 foi utilizado 1960 a 2000) ou a interpolação dos dados de PRE_LA. Para o período de 2070 a 2086 (PREC_FU), este índice apresentou tendência positiva em praticamente toda a região de análise (figura 2 c)

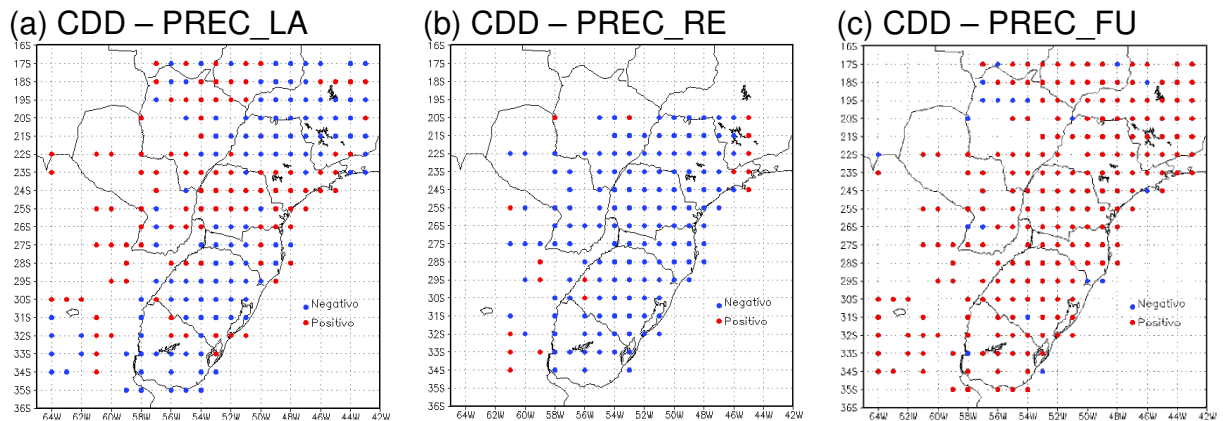


Figura 2 – Número de Dias Consecutivos Secos (CDD) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b) e para os dados PREC_FU.

Para os Dias Consecutivos Úmidos houve uma grande diferença entre as tendências (figura 3 a,b), sendo as únicas regiões com tendências positivas nos dois conjuntos de dados, as situadas no litoral de Santa Catarina e no Paraná. O número de Dias Consecutivos Úmidos teve tendência negativa na maior parte do Rio Grande do Sul (figura 3 a) e os dados do modelo observou-se tendência positiva sobre toda a região Sul do Brasil (figura 3 b). Novamente comparando com Hk06 observa-se que neste caso os dados de PREC_LA tiveram maior concordância nas tendências, principalmente no Rio Grande do Sul. Para os dados PREC_FU (figura 3 c) o número de dias consecutivos úmidos apresentou tendência de diminuição em grande parte do Rio Grande do Sul, exceto no sul e norte do estado. Comparando com o clima presente há uma inversão do sinal no CDD no Rio Grande do Sul e Santa Catarina e no CWD no Paraná.

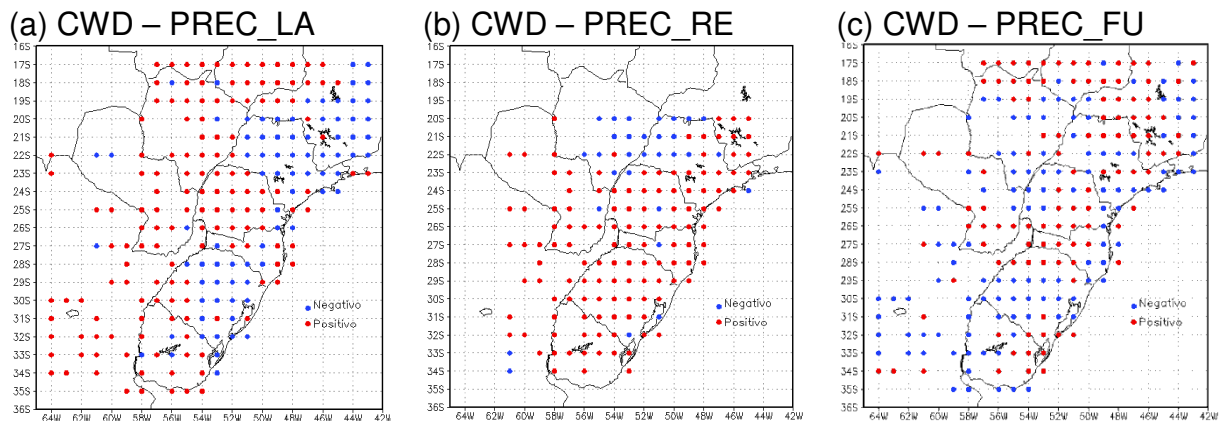


Figura 3 – Número de Dias Consecutivos Úmidos (CWD) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do PREC_RE (b).

Para os dados PREC_LA a tendência da Precipitação Total Anual apresentou tendência de aumento nos totais acumulados sobre toda a região Sul do Brasil e sobre São Paulo (figura 4 a). Uma tendência de aumento na precipitação também foi observada sobre toda a região de estudo para os dados PREC_RE (figura 4 b). Sabatini (2008) analisou a tendência do PRPCTOT por estação do ano e verificou que apenas no verão havia tendência a valores negativos sobre o Sul do Brasil, nas outras estações os valores eram todos positivos. Como a análise neste caso é anual, estes resultados acabam concordando, pois a tendência de aumento se sobrepõe a tendência negativa de apenas uma estação do ano. Neste caso, o modelo obteve um resultado coerente com os dados observados. A precipitação total anual para o clima futuro (figura 4 c) apresenta tendência de aumento no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e parte do Paraná, São Paulo e Minas Gerais. Tendências de diminuição da precipitação são observadas nos litorais do Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro.

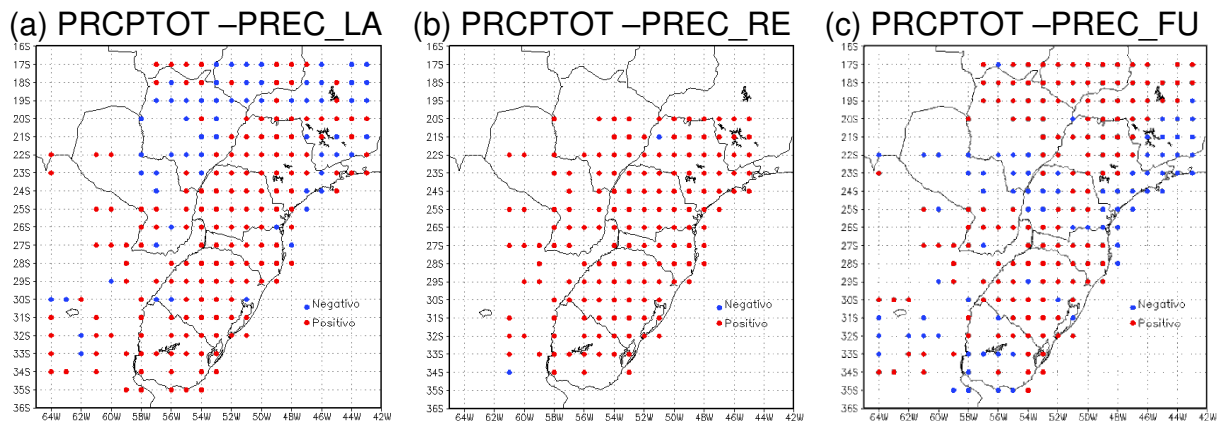


Figura 4 – Precipitação Total Anual (PRCPTOT) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).

O número de dias com precipitação acima de 10 milímetros é mostrado na figura 5. Para os dados PREC_LA houve um aumento dessas precipitações sobre grande parte da região Sul e sobre São Paulo (figura 5 a), com tendência negativa apenas em parte de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. Para os dados PREC_RE (figura 5 b) este índice obteve bom resultado na simulação, com tendência positiva nas chuvas acima de 10 milímetros em todas as regiões. Estas tendências positivas também foram encontradas por Hk06. Este índice apresenta tendência de aumento para os dados PREC_FU sobre grande parte da região analisada, as tendências negativas são observadas em áreas mais restritas, como região Leste e Noroeste do Rio Grande do Sul, áreas litorâneas do Paraná e São Paulo e Noroeste do Paraná (figura 5 c). Estas tendências negativas não foram encontradas nos dados de clima presente (PREC_LA e PREC_RE).

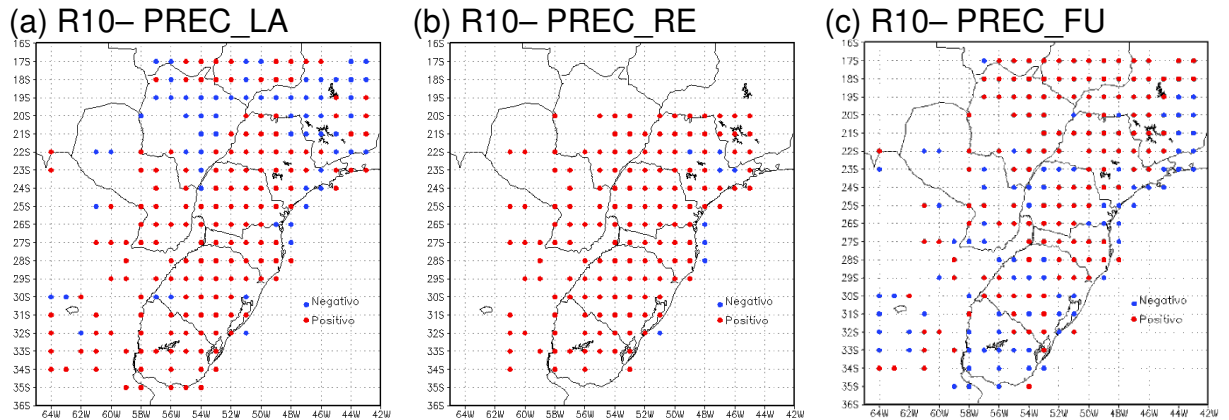


Figura 5 – Número de dias com precipitação acima de 10 mm (R10mm) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).

O número de dias com precipitações acima de 20 milímetros aumentou sobre toda a área brasileira do mapa, exceto sobre o Mato Grosso do Sul (figura 6 a) para os dados PREC_LA. Porém, os dados PREC_RE apresentaram tendência de aumento em todas as regiões, inclusive sobre o Mato Grosso do Sul (figura 6 b). As tendências encontradas para os dados PREC_RE foram coerentes com os dados PREC_LA, que de forma geral apresentaram tendência positiva. As tendências para o número de dias com precipitação acima de 20 milímetros para os dados PREC_FU (figura 6 c) são semelhantes às tendências encontradas para os outros dois conjuntos de dados.

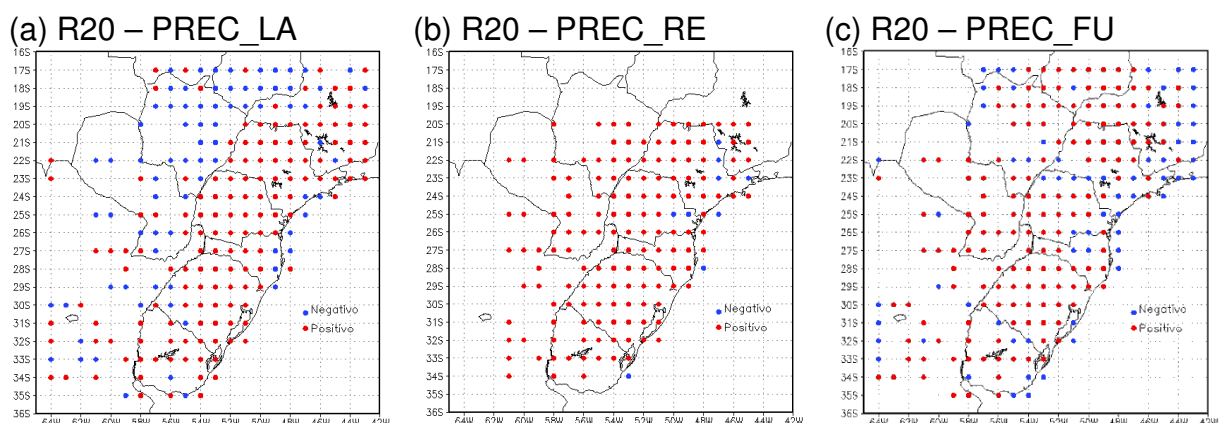


Figura 6 – Número de dias com precipitação acima de 20 mm (R20mm) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).

A contagem anual do número de dias com precipitações acima de 25 milímetros (figura 7 a) apresentou tendência negativa no extremo Oeste do Rio Grande do Sul, sobre o Mato Grosso do Sul e parte de Goiás, nas demais regiões apresentou tendência positiva. Para os dados PREC_RE (figura 7 b), as tendências foram coerentes com as encontradas para dados PREC_LA, exceto no extremo Oeste do Rio Grande do Sul, onde a simulação obteve tendência positiva e na região Leste de São Paulo observou-se tendência negativa. As tendências negativas nos dados PREC_FU ficaram mais restritas às áreas litorâneas. Esta configuração sugere que as chuvas no clima futuro seriam mais intensas (com altos valores acumulados) intercaladas por longos períodos secos, pois como observado na figura 2 c o número de dias consecutivos secos tende a aumentar com o passar dos anos.

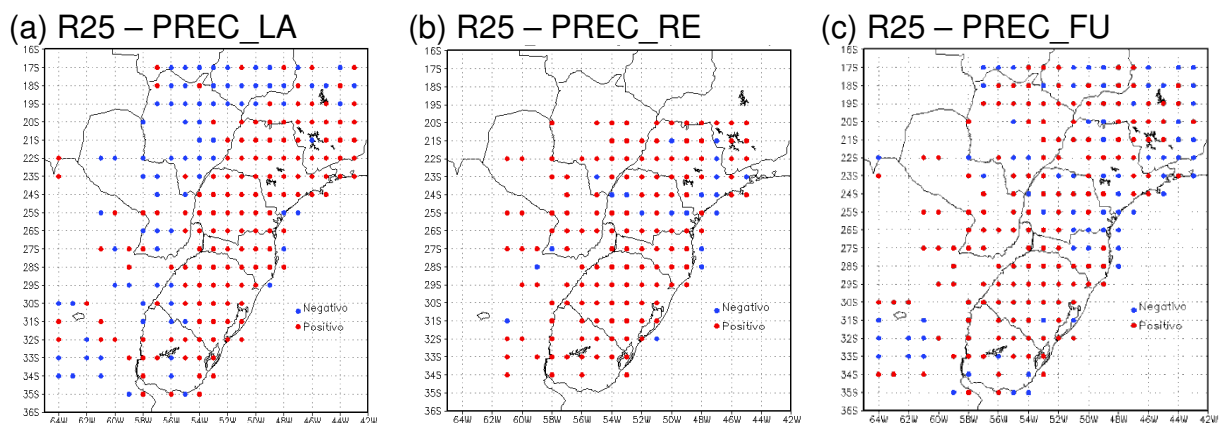


Figura 7 – Número de dias com precipitação acima de 25 mm (R25mm) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).

A precipitação total anual quando a precipitação for superior ao percentil 95, é calculada com base na climatologia de 1960 a 1990. Este índice corresponde ao extremo direito da cauda de distribuição de chuva representando os dias muito úmidos (figura 8). Tendência negativa é observada nos dados PREC_LA sobre o Paraguai, Mato Grosso do Sul, parte de Goiás e no extremo Oeste do Rio Grande do Sul e tendência positiva em toda a região Sul do país e São Paulo (figura 8 a). Apenas a região Leste do Paraná (figura 8 b) apresentou tendência negativa, nas demais regiões a tendência foi positiva, mostrando a boa desenvoltura do modelo.

Tanto Hk06 quanto Sabatini (2008) encontraram tendências positivas para esta região, neste índice.

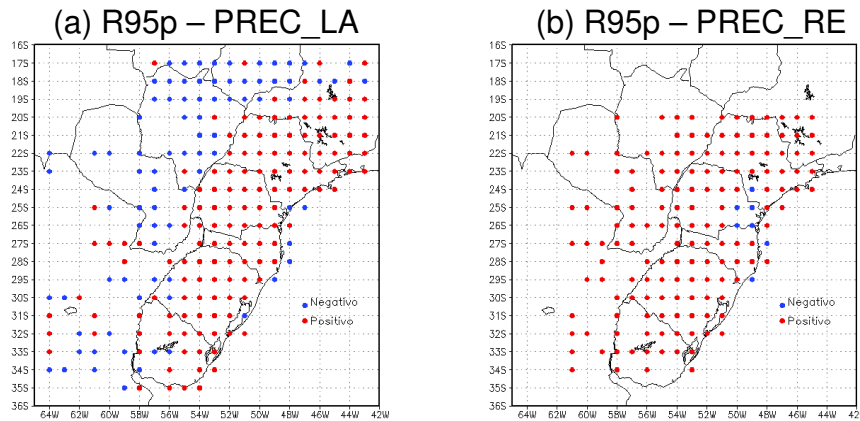


Figura 8 – Precipitação Total Anual quando a precipitação for maior que o percentil 95 (R95p) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).

Na figura 9 (a) observou-se que, novamente, no extremo Oeste do Rio Grande do Sul, Paraguai, Mato Grosso do Sul e parte de Goiás a tendência foi negativa para a precipitação total anual em que os totais pluviométricos ficaram acima do percentil 99. A tendência simulada pelo modelo RegCM3 apresentou diminuição em partes de Santa Catarina e Paraná, como pode ser observado na figura 9 (b). Nas demais regiões a tendência foi positiva, coerente com a tendência encontrada para os dados de precipitação. Em Hk06 a tendência negativa em Santa Catarina também está presente, como ocorreu nos dados PREC_RE.

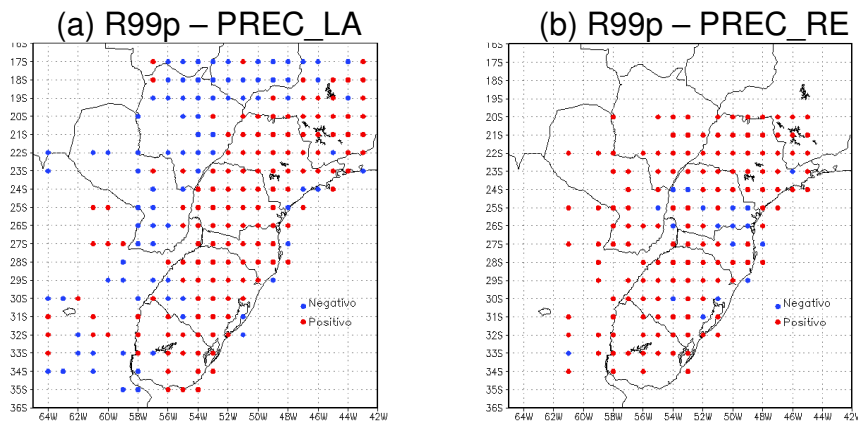


Figura 9 – Precipitação Total Anual quando a precipitação for maior que o percentil 99 (R99p) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).

A figura 10 mostra o índice de extremo climático que representa a chuva máxima registrada em um dia. Observou-se tendência positiva deste índice sobre toda a região Sul do Brasil, São Paulo e parte de Minas Gerais e tendência negativa no extremo Oeste do Rio Grande do Sul, Paraguai Mato grosso do Sul e parte de Goiás (figura 10 a). Para os dados PREC_RE (figura 10 b) observou-se que o modelo não obteve bom desempenho, pois apresentou áreas de tendência negativa diferentes das encontradas para os dados de precipitação, como na região Sudeste do Rio Grande do Sul, parte de Santa Catarina, Paraná e São Paulo. No entanto Hk06 também apresentou tendência negativa em alguns pontos em Santa Catarina, mas não no Centro-Sul do Rio Grande do Sul. Para os dados PREC_FU, a quantidade máxima de precipitação em um único dia para cada ano, apresentou tendência de aumento em praticamente todo o Rio Grande do Sul e na região Sudeste do país há algumas a regiões com diminuição destas precipitações mais extremas (figura 10 a).

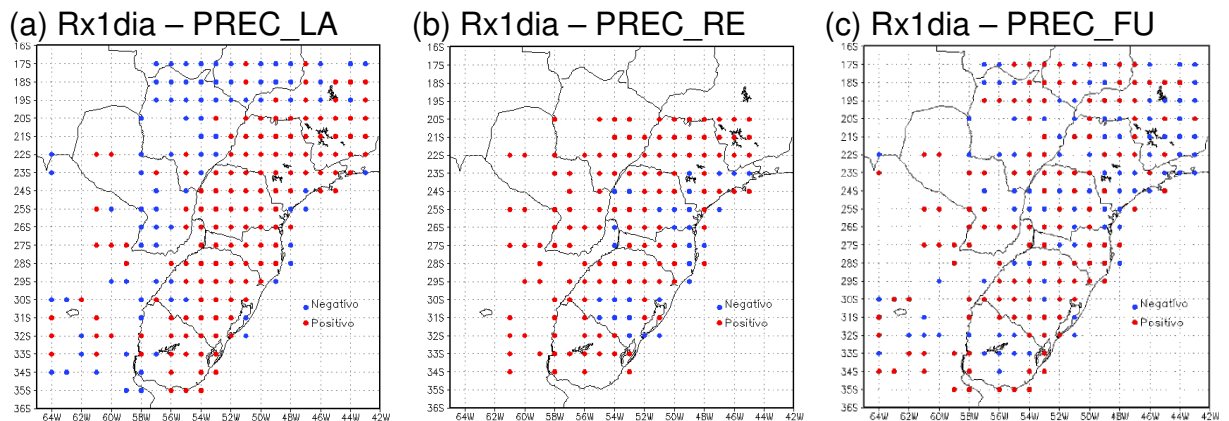


Figura 10 – Quantidade Máxima de Precipitação em um Dia (Rx1dia) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).

A figura 11 mostra o índice de extremo climático que representa a chuva máxima registrada em cinco dias consecutivos. A tendência positiva foi observada sobre a região Sul do país, exceto no extremo Oeste do Rio Grande do Sul e parte de São Paulo e Minas Gerais (figura 11 a). Este índice, para os dados PREC_RE, apresentou tendência negativa em alguns pontos do Rio Grande do Sul, litoral de Santa Catarina e parte do Paraná (figura 11 b). Sabatini (2008) também encontrou valores negativos da tendência deste índice em alguns pontos do Paraná, mas Hk06 apresentou tendência positiva nos três estados do Sul do Brasil. De forma semelhante aos dados PREC_LA, os dados PREC_FU (figura 11 b) também apresentaram tendência de aumento na quantidade de precipitação máxima em cinco dias consecutivos sobre o Rio Grande do Sul, as tendências negativas neste índice aparecem nas áreas litorâneas de Santa Catarina, Paraná e São Paulo.

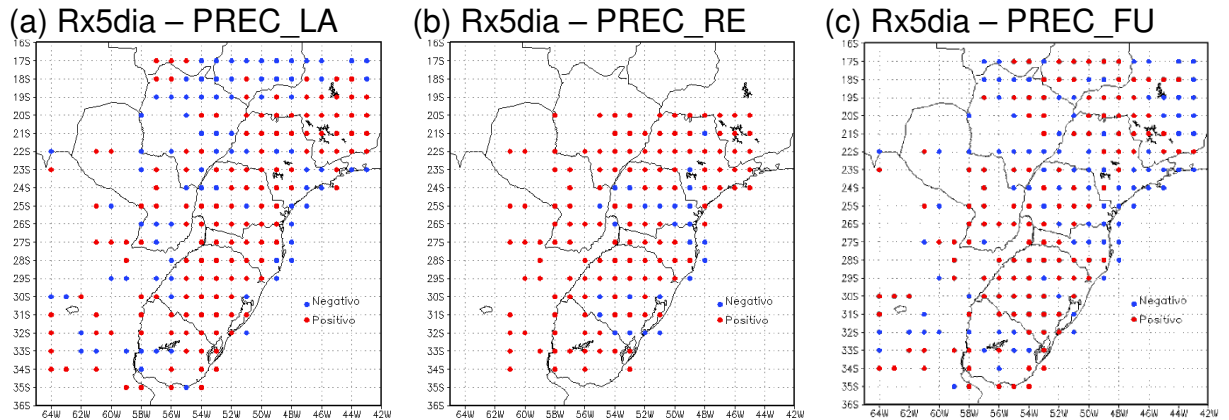


Figura 11 – Quantidade Máxima de Precipitação em Cinco Dias Consecutivos (Rx5dia) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).

O índice de intensidade de precipitação simples é considerado como um indicador de mudanças no clima de uma região. Para os dados PREC_LA a tendência da intensidade das chuvas tem aumentado sobre toda a região Sul do Brasil, exceto no extremo oeste do Rio Grande do Sul, Paraguai, Mato Grosso do Sul e parte de Goiás (figura 12 a). E observando-se a figura 12 b notou-se que o modelo não conseguiu simular as áreas com tendências negativas encontradas para os dados de precipitação. Esta mesma tendência negativa foi observada por Hk06, mas para o estado inteiro do Rio Grande do Sul. Cabe ressaltar que em Hk06 foram utilizados bem menos pontos no Sul do Brasil.

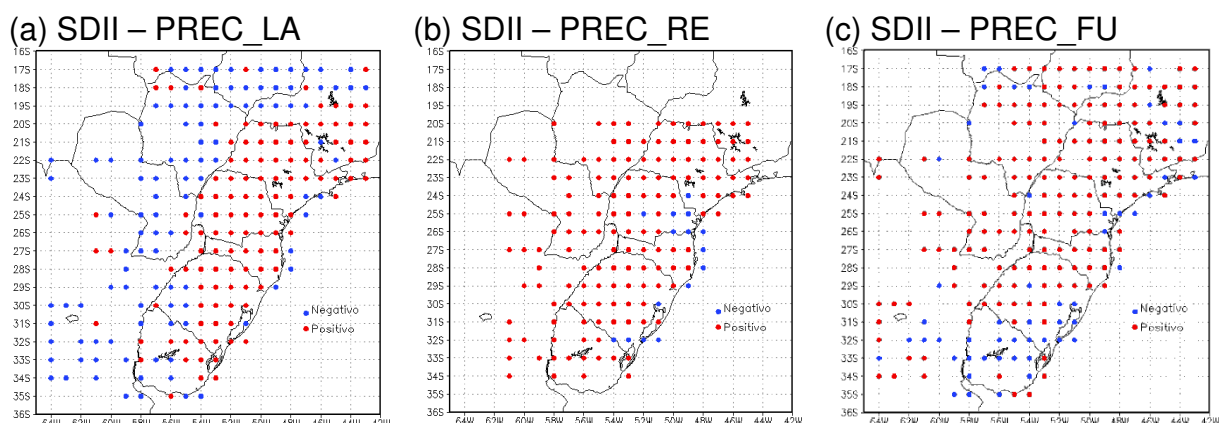


Figura 12 – Índice de Intensidade de Precipitação Simples (SDII) para os dados PREC_LA (a) e para os dados do modelo PREC_RE (b).

De forma geral, o modelo conseguiu simular de forma adequada as tendências encontradas para os dados PREC_LA. Os índices que apresentaram as maiores diferenças foram os dias consecutivos secos e úmidos e os dias com precipitação máxima em um dia e em cinco dias consecutivos. Comparando os resultados encontrados para os dados PREC_LA, com os resultados por Hk06 e Sabatini (2008) que utilizaram períodos distintos, observou-se boa concordância entre os resultados, exceto para o índice do número de dias consecutivos úmidos, em que Hk06 encontrou tendência positiva sobre todo o Rio Grande do Sul. E para os dados PREC_FU observou-se tendência de aumento para a maioria dos índices, apenas o índice para o número de Dias Consecutivos Úmidos apresentou tendência negativa sobre grande área do Rio Grande do Sul.

3.2 Análise de Componentes Principais – Comparação entre os Dados PREC_LA, PREC_RE e PREC_FU

A análise de componentes principais foi aplicada aos dados diários de precipitação (PREC_LA) e do modelo (PREC_RE) filtrados, para determinar os modos de variabilidade de precipitação que afetam o Rio Grande do Sul. Foram calculados modos espaciais com e sem rotação.

A seguir serão apresentados os modos para a banda sinótica, intrasazonal e interanual, analisados por estação do ano para os dados PREC_LA e PREC_RE (clima presente). Cada figura apresenta o modo mais importante encontrado em cada banda, com suas respectivas variâncias explicada sobre cada figura em porcentagem.

3.2.1 Banda Sinótica

Para o Outono pode-se verificar um modo de variabilidade de precipitação atuando sobre parte do Paraná e São Paulo com valores positivos, o que pode caracterizar a estação seca nesta região (observado através da série temporal do modo não mostrada), supostamente devido a bloqueios atmosféricos (figura 13 a). O segundo modo de variabilidade (figura 13 b) apresenta valores negativos sobre o Rio Grande do Sul sugerem que estes estejam relacionados com a atuação de Sistemas Convectivos de Mesoescala e sistemas frontais, que são fenômenos atuantes no sul do Brasil nesta época do ano. Assim, o modo de variabilidade sinótica que atua mais fortemente no Rio Grande do Sul foi encontrado no segundo modo sem rotação, explicando 10,82% da variância total.

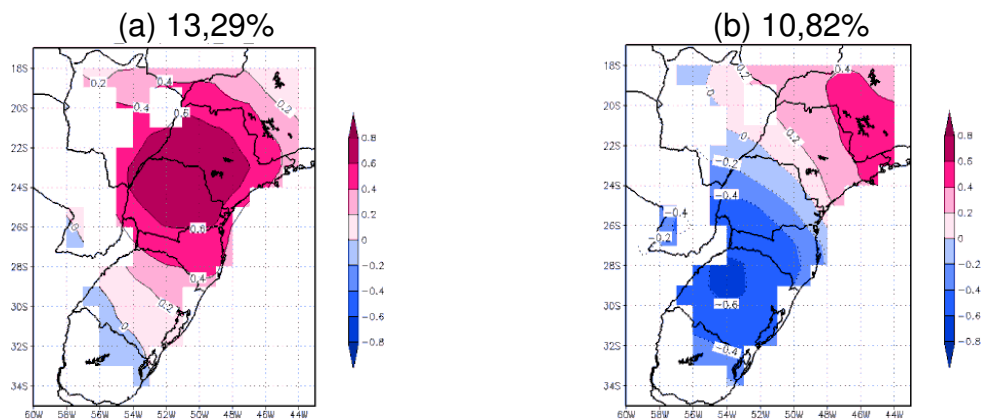


Figura 13 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O segundo modo sem rotação (figura 13 b) parece ter sido separado entre o segundo e quinto modo com rotação (figura 14 b e c, respectivamente). O primeiro modo apresenta valores negativos concentrados sobre o Paraná (figura 14 a). O segundo modo (figura 14 b) parece estar relacionado com eventos mais secos no Sudeste do país, como mostram os valores positivos sobre São Paulo e negativos sobre o Rio Grande do Sul. E o quinto modo (figura 14 c) com valores negativos na região Sul enquanto que no Sudeste são positivos, e no sul os valores são maiores em módulo do que na região Sudeste, o que caracteriza o Modo Sul, como mostrou Pampuch (2010) em uma análise anual nos dados de precipitação para a escala intrasazonal. Assim, o Modo Sul foi encontrado no quinto modo de variabilidade com rotação, explicando 4,37% da variância total e os quatro primeiros modos representam 24,51% juntos.

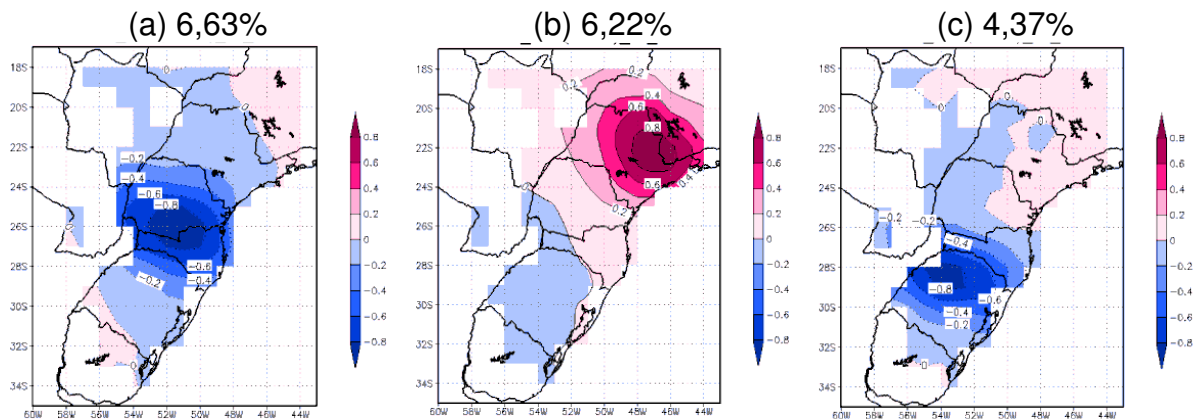


Figura 14 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quinto Modo.

Para o Inverno observam-se valores positivos na região Sudeste, que pode estar associada à estação seca nesta região (figura 15 a). No segundo modo observa-se um núcleo com valores negativos sobre o Norte do Rio Grande do Sul, Oeste de Santa Catarina e Sudoeste do Paraná, provavelmente indicando a estação chuvosa no Sul do Brasil associada à passagem de sistemas frontais (figura 15 b). Assim, o sinal dos sistemas transientes no Rio Grande do Sul foi encontrado no segundo modo sem rotação, explicando 11,58% da variância total.

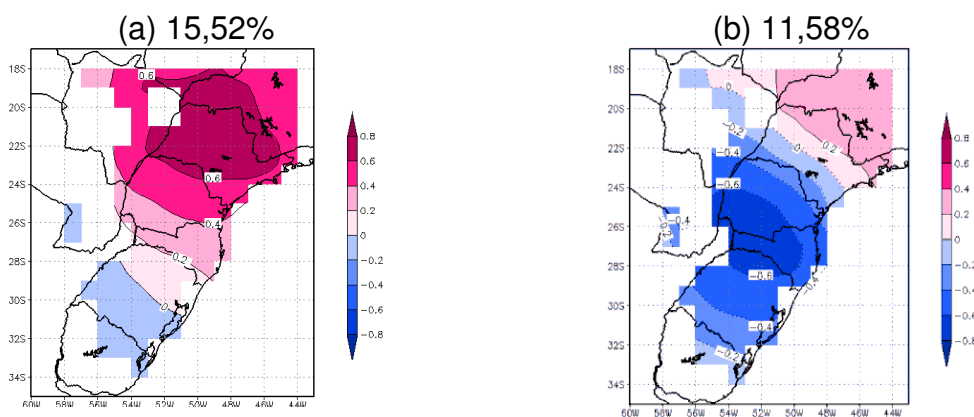


Figura 15 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O primeiro modo de variabilidade com rotação (figura 16 a) possui valores positivos entre a região Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, que pode estar associada

com a falta de chuvas nestas regiões, já que nesta época do ano chove pouco nesta parte do Brasil (estação seca). O segundo modo (figura 16 b) parece indicar a junção dos dois primeiros modos não rotacionados (figura 15), pois os valores ficam mais concentrados em Santa Catarina e Paraná. E o quinto modo de variabilidade apresenta valores negativos na região Sul enquanto que na região Sudeste são positivos, e no Sul os valores são superiores em módulo do que na região Sudeste caracterizando o Modo Sul (figura 2116 c). Da mesma forma que no Outono, o Modo Sul foi encontrado no quinto modo com rotação, explicando 5% da variância total e os quatro primeiros modos representam 27,72% juntos.

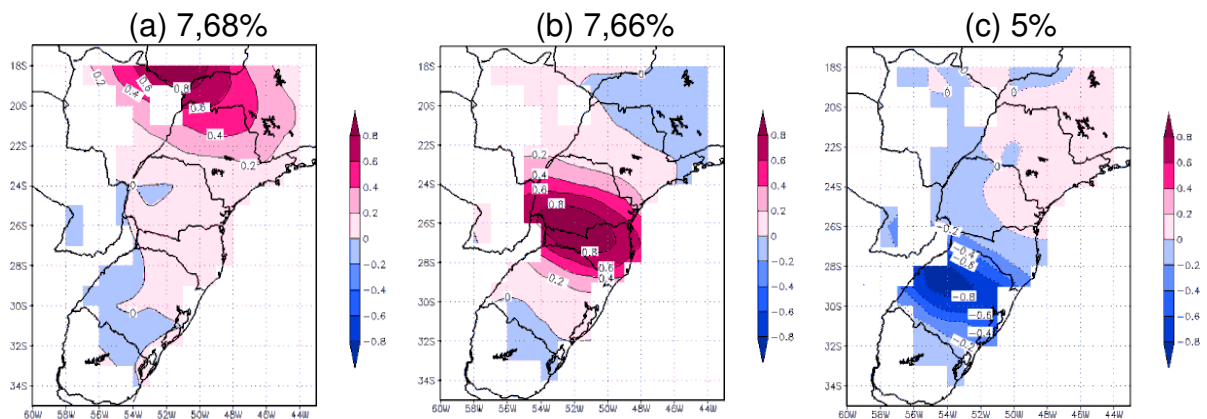


Figura 16 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quinto Modo.

Para a primavera o primeiro modo de variabilidade sem rotação (figura 17 a) mostra valores positivos sobre grande parte do Paraná e São Paulo. Um dipolo de precipitação é observado no segundo modo (figura 17 b), com valores negativos na região Sul e positivos na região Sudeste, caracterizando o Modo Sul. Estes dois modos são semelhantes aos modos sem rotação encontrados para o Outono, Inverno e Primavera, mostrando que há uma homogeneidade entre os sistemas precipitantes no Sul do Brasil nesta banda de variabilidade. No segundo modo pode-se verificar que os núcleos ao sul estão posicionados em áreas de maior atuação de transientes. Por exemplo, no inverno os coeficientes mais altos se aproximam mais da região Sudeste. O modo de variabilidade sinótica que afeta o Rio grande do Sul fica evidente no segundo modo sem rotação, explicando 11,87% da variância total.

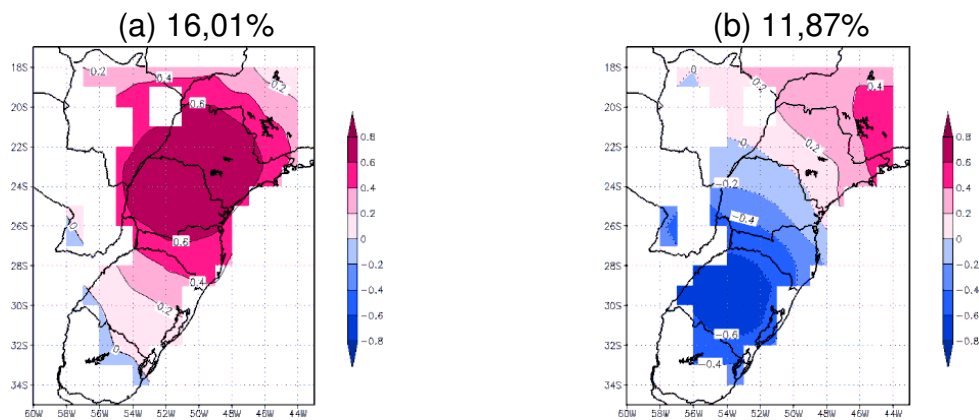


Figura 17 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Para o primeiro modo com rotação (figura 18 a) observou-se valores negativos na região Sul e positivos na região Sudeste, sendo que os valores sobre o Rio Grande do Sul são maiores em módulo, que caracteriza o Modo Sul. Já para o segundo modo (figura 18 b) um núcleo com valores positivos foi observado sobre o Norte do Paraná. Assim, o Modo Sul foi encontrado no primeiro modo com rotação, e é mais intenso e mais presente durante a Primavera do que em outras estações e explica 7,68% da variância total. Segundo as Novas Normais Climatológicas do INMET (2009), o Rio Grande do Sul apresenta acumulados de chuva significativos durante o ano todo, mas sendo mais intensos na Primavera, o que ajuda a corroborar o resultado acima.

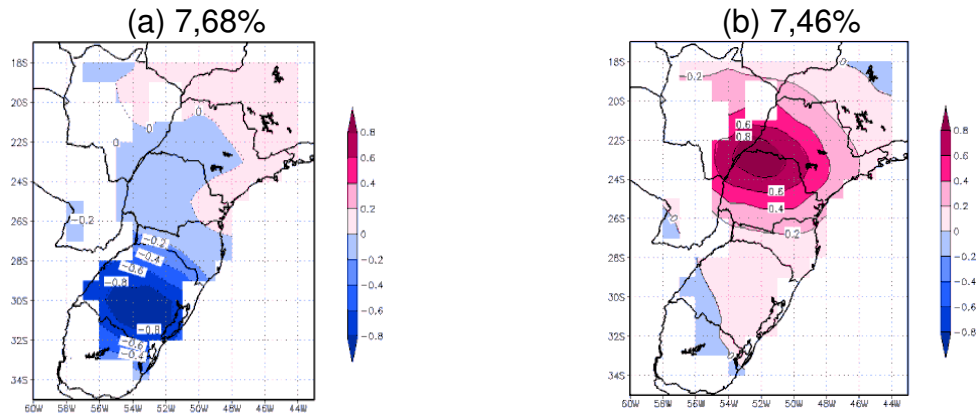


Figura 18 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Para o verão os valores positivos sobre a região Sul mostram a área predominante da estação seca durante o Verão (figura 19 a). No segundo modo de variabilidade sem rotação (figura 19 b) nota-se com clareza a região de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é um “sistema” típico de Verão na região Sudeste e que caracteriza a estação chuvosa na região. Estudos observacionais indicam uma evidente associação entre períodos de enchentes de Verão na região Sudeste e verânicos no sul com a permanência prolongada da ZCAS (Casarin e Kousky, 1986). O primeiro modo explica 11,27% da variância total e o segundo modo explica 10,47%.

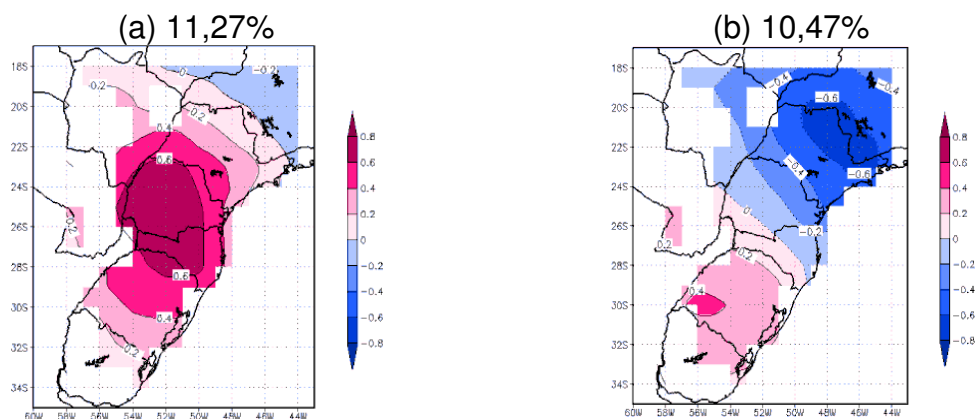


Figura 19 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Nos modos rotacionados não houve grandes mudanças em relação aos modos sem rotação, apenas ficaram maiores em módulo e concentrados em áreas menores como podem ser observadas comparando as figuras 19 (a, b) e 20 (a, b). No segundo modo (figura 20 b) observou-se o padrão de ZCAS bem definido na região Sudeste. E o Modo Sul foi encontrado novamente no quinto modo com rotação (figura 20 c) explicando 4,12% da variância total.

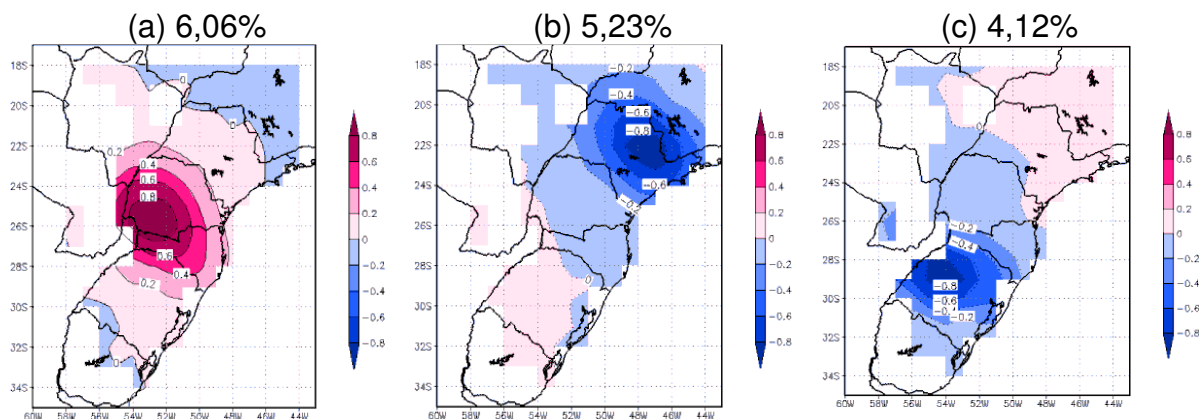


Figura 20 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quinto Modo.

A seguir serão analisados os modos de variabilidade na banda sinótica simulados pelo modelo RegCM3 no clima presente (PREC_RE).

Para o outono, no primeiro modo de variabilidade (figura 21 a) observam-se os valores negativos na região Sul, possivelmente associados a sistemas transientes que influenciam o tempo em várias regiões do Brasil. E o segundo modo apresentou valores negativos sobre o Rio Grande do Sul e positivos na região Sudeste, podendo estar relacionada às frentes frias estacionárias sobre o Sul do Rio Grande do Sul (figura 21 b). O primeiro modo para os dados PREC_RE é semelhante ao segundo modo sem rotação encontrado nos dados PREC_LA (figura 13 (b)), que explica 8,62% da variância total.

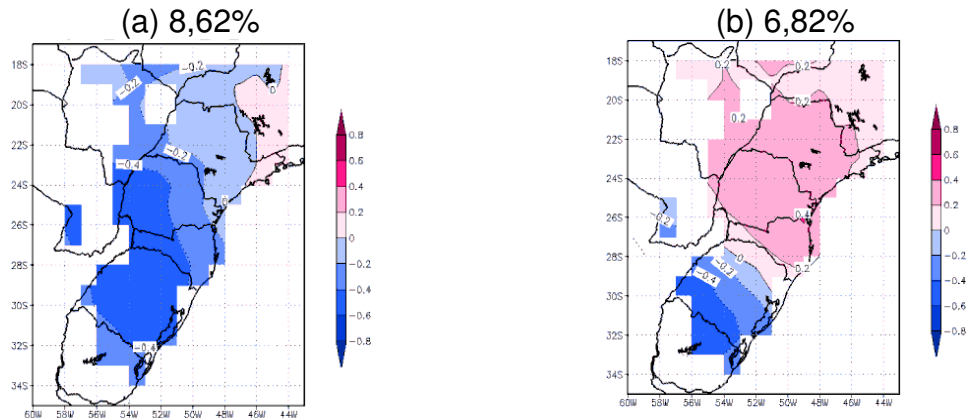


Figura 21 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O primeiro e segundo modo com rotação (figura 22 a,b) parecem ser uma partição do primeiro modo sem rotação (figura 26 a), onde o primeiro modo (figura 22 a) possui as características do Modo Sul. A figura 22 b possui um núcleo de valores negativos sobre o Paraná. O primeiro modo com rotação explica 3,9% da variância total.

Fazendo uma comparação, nota-se que o primeiro modo de variabilidade com rotação para o Outono simulado pelo modelo foi encontrado no quinto modo para os dados de precipitação (figura 14 (c)). E o segundo modo com rotação do modelo é semelhante ao primeiro modo para os dados de precipitação, como pode ser observado na figura 14 (b).

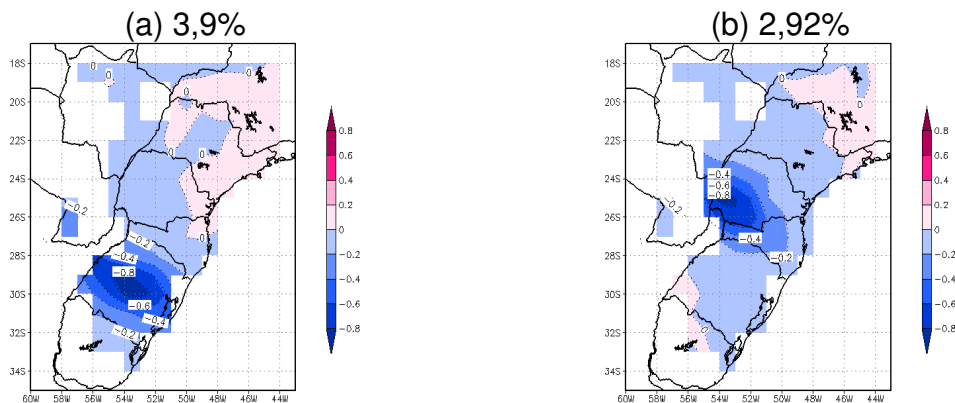


Figura 22 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Para o inverno, no primeiro modo de variabilidade sem rotação, observaram-se valores negativos sobre grande parte do Sul do Brasil (figura 23 a) possivelmente indicando que durante o inverno a banda sinótica é caracterizada pelo primeiro modo sem rotação e este modo foi encontrado no segundo modo para os dados PREC_LA (figura 15 b). Já o segundo modo (figura 23 b) com valores positivos no Rio Grande do Sul e negativos na região Sudeste parece indicar um período com menos chuvas no Rio Grande do Sul, este modo é semelhante ao encontrado na figura 15 a, mas com sinal oposto. O primeiro modo sem rotação explica 9,11% da variância total.

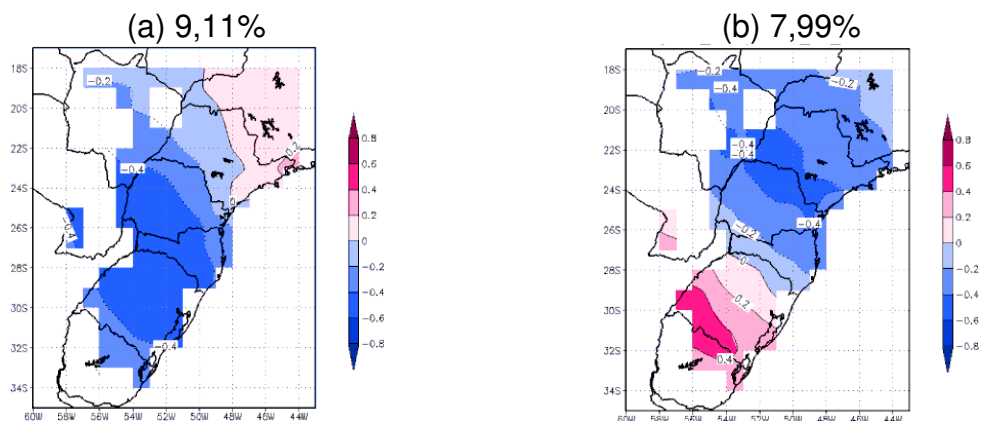


Figura 23 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Para os dados rotacionados, o primeiro modo (figura 24 a) possui valores negativos no Sul do Rio Grande do Sul semelhante ao quinto modo com rotação encontrado nos dados PREC_LA (figura 16 c). No segundo modo observou-se valores positivos na região Sul e negativos mais ao Sudeste (figura 24 b), este segundo modo é semelhante ao sétimo modo de variabilidade (não mostrado) encontrado nos dados de precipitação, com a área positiva mais ao sul.

Nesta análise, é a primeira vez que aparecem entre os primeiros modos dois padrões distintos atuando no Rio Grande do Sul, que pode sugerir fases distintas das variabilidades na banda sinóticas com diferentes frequências atuando na região.

O primeiro modo de variabilidade para os dados PREC_RE com rotação explica 3,67% da variância total.

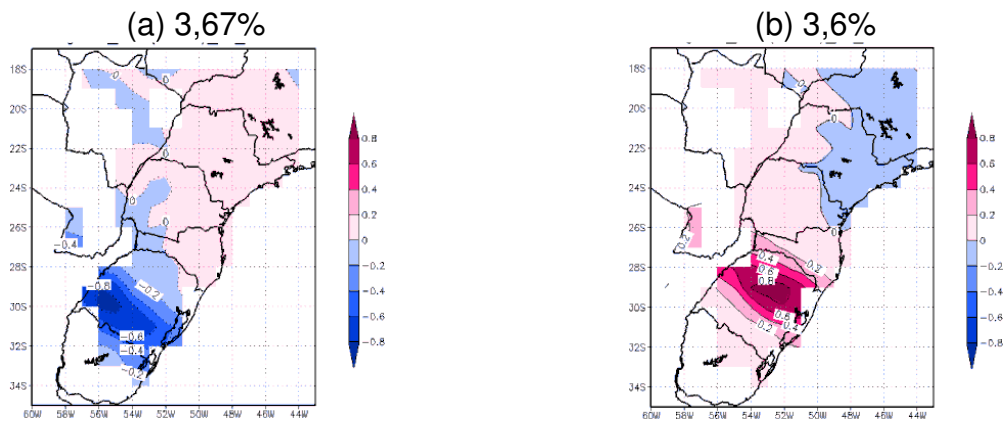


Figura 24 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Na primavera, observou-se no primeiro modo de variabilidade sem rotação (figura 25 a) uma similaridade com o primeiro modo sem rotação para o Outono, evidenciando a homogeneidade dos sistemas precipitantes no Sul do Brasil. E o segundo modo (figura 25 b) apresentou valores negativos sobre o Rio Grande do Sul, semelhante ao segundo modo encontrado nos dados PREC_LA (figura 17 b), porém no modo encontrado para o modelo a área negativa é menos intensa e está localizada mais ao sul. O primeiro modo sem rotação explica 10,27% da variância total.

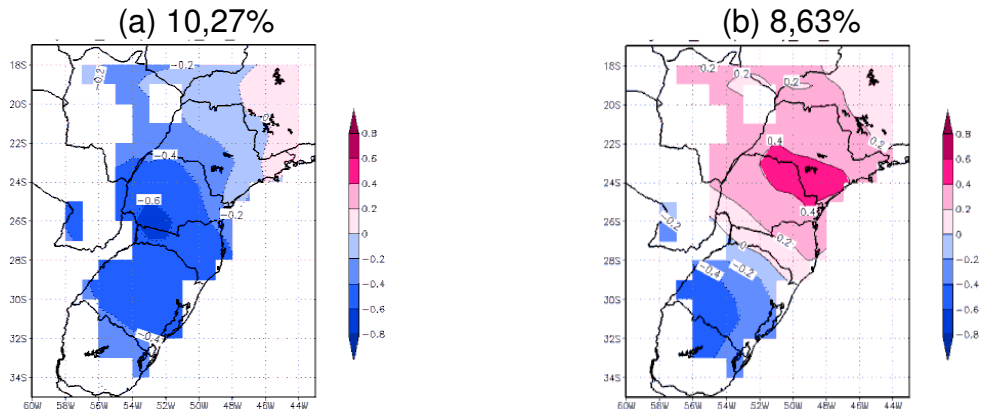


Figura 25 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Para a análise com rotação observou-se valores negativos sobre o Rio Grande do Sul e valores positivos sobre a região Sudeste (figura 26 a), este modo apresenta configuração semelhante ao Modo Sul e é semelhante também ao primeiro modo encontrado para os dados PREC_LA (figura 18 a). E valores negativos concentrados mais a norte, sobre o Paraná foram observados no segundo modo de variabilidade (figura 26 b) que é similar ao quarto modo de variabilidade sem rotação (não mostrado) para os dados PREC_LA. Esta semelhança encontrada nos dois conjuntos de dados sugere que este modo é bem significativo neste período do ano. O primeiro modo com rotação explica 5,06% da variância total.

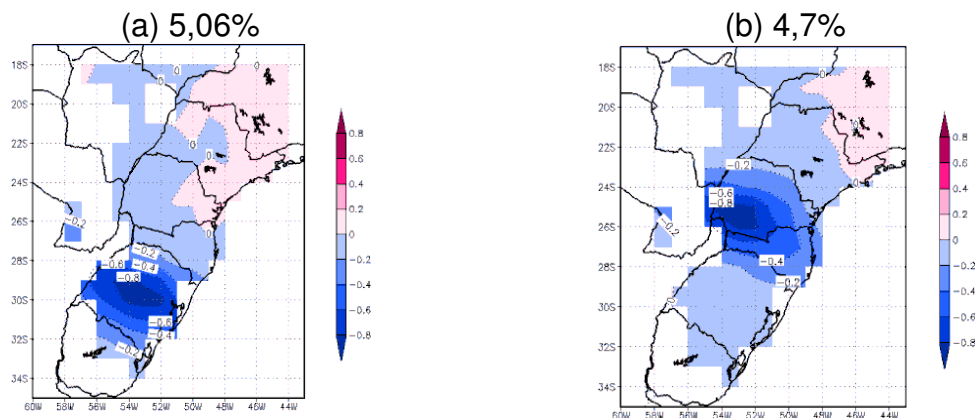


Figura 26 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Para o verão o primeiro modo apresentou valores negativos na região Sul e positivos na região Sudeste que possivelmente indicando, que mesmo no verão, há a atuação de sistemas transientes sobre o Sul do país (figura 27 a). Já no segundo modo (figura 27 b) observam-se valores negativos sobre na região Sudeste e valores positivos bem ao sul, semelhante também ao segundo para os dados de precipitação, porém com intensidade menor, como pode ser comparado pela figura 19 (b). O primeiro modo sem rotação explica 6,93% da variância total.

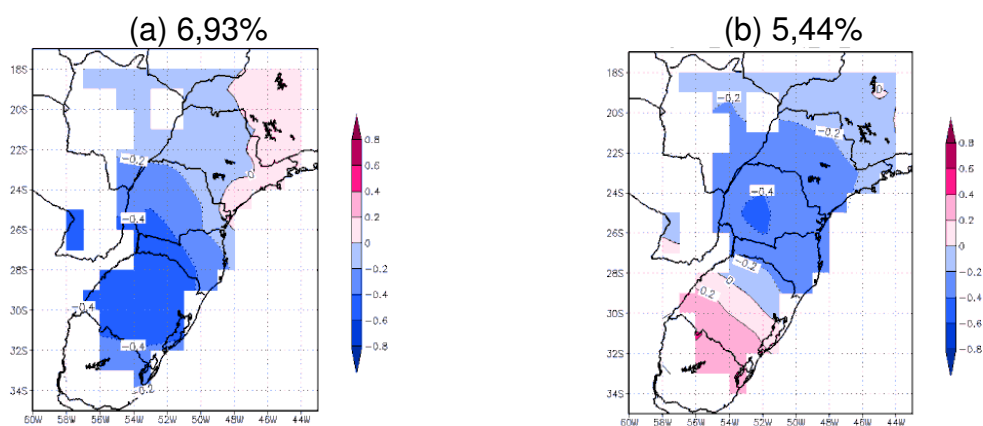


Figura 27 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Nota-se uma grande semelhança entre os dois modos de variabilidade com rotação (figura 28 a,b) com valores positivos pouco expressivos na região Sudeste e valores negativos concentrados sobre a região Oeste de Santa Catarina, que pode estar relacionado a Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Mas, comparando estes modos com os modos rotacionados para os dados PREC_LA, não se encontrou nenhuma semelhança entre eles. O primeiro modo com rotação teve 1,55% da variância total e o segundo modo 1,47%.

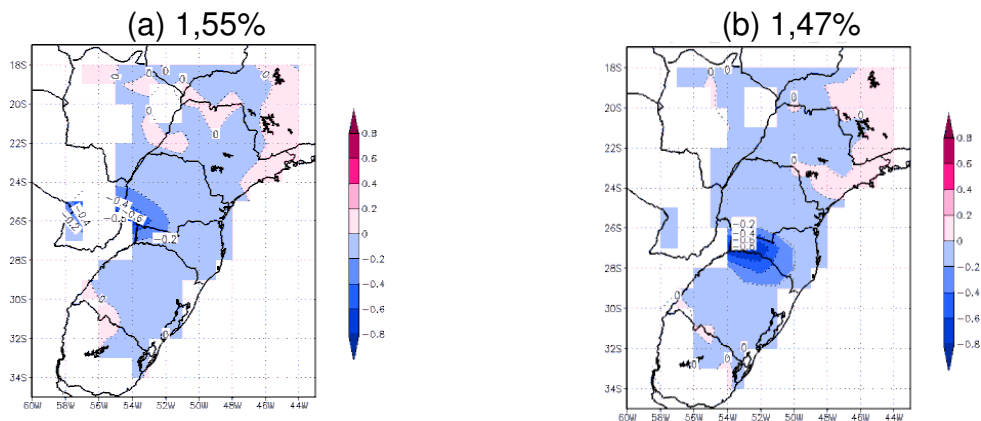


Figura 28 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

A seguir, será apresentada a análise de componentes principais aplicada aos dados diários filtrados do clima futuro simulado pelo RegCM3 (PREC_FU), para determinar se os mesmos modos de variabilidade de precipitação que afetam o Rio Grande do Sul no clima presente serão os mesmos para os próximos anos.

Os modos encontrados para a banda sinótica para o clima futuro são semelhantes aos modos encontrados para o clima presente simulados para os dados PREC_RE (figura 21 a,b). O primeiro modo sem rotação representado pela figura 29 a é semelhante ao segundo modo encontrado nos dados PREC_LA (figura 13 b) apenas invertendo o sinal na região Sul do Brasil. A figura 29 b possui valores positivos na região Sudeste e negativos na região Sul e é semelhante ao segundo modo encontrado para os dados simulados pelo modelo PREC_RE (figura 21 b), porém com sinal menos intenso. O primeiro modo de variabilidade sinótica sem rotação representa 10,99% da variância total.

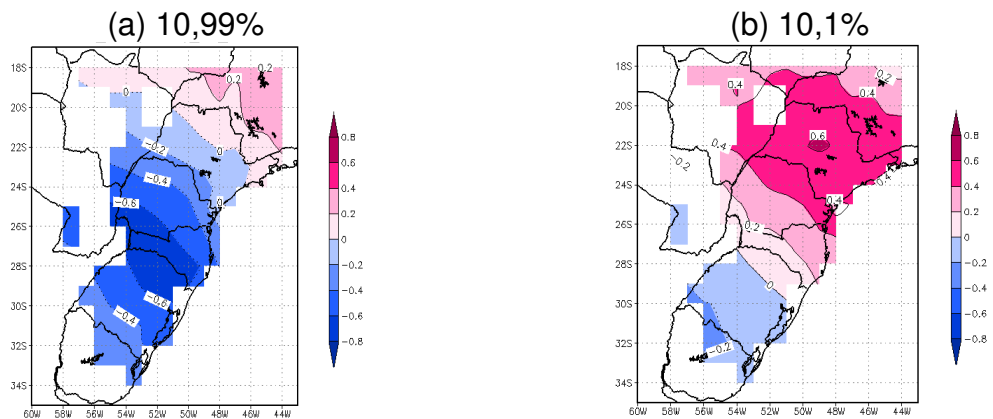


Figura 29 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O modo com rotação (figura 30a) possui um núcleo com valores negativos sobre Santa Catarina, representando o primeiro modo de variabilidade para o Outono. Este modo é semelhante ao primeiro modo encontrado para os dados PREC_LA como pode ser observado na figura 14a, onde os valores negativos estão sobre Santa Catarina e Paraná. A figura 30b com valores positivos sobre a região Sudeste, principalmente São Paulo, também é semelhante ao segundo modo encontrado nos dados de precipitação. E a figura 30c com um núcleo com valores negativos sobre o Rio Grande do Sul é semelhante ao terceiro modo encontrado nos dados de precipitação e ao primeiro modo para os dados simulados pelo modelo (figura 22a) para o clima presente e está representando o Modo Sul. O terceiro modo de variabilidade sinótica com rotação representa 3,26% da variância total.

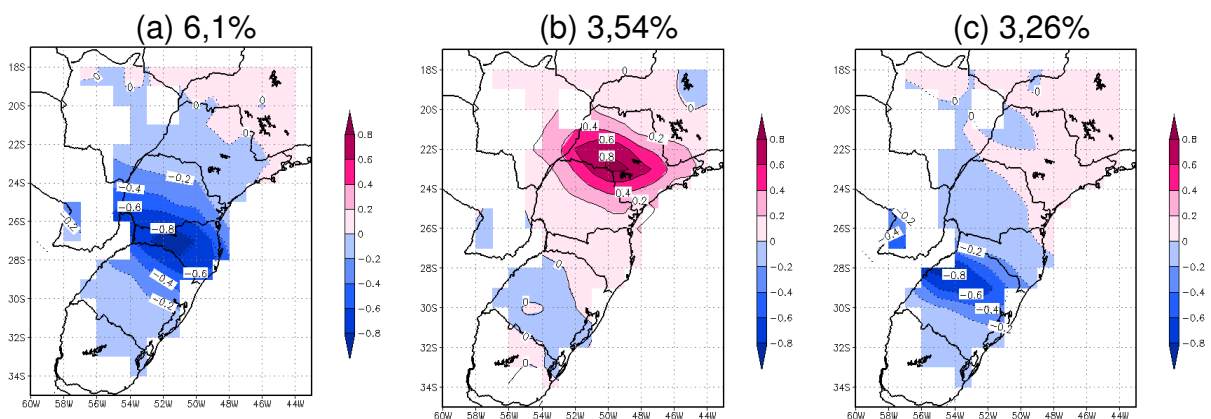


Figura 30 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.

O primeiro modo observado na figura 31a para os dados PREC_FU é semelhante ao primeiro modo encontrado para os dados de precipitação (figura 15a). A figura 31b apresenta valores positivos na região Sul do Brasil, este modo é semelhante ao segundo modo encontrado nos dados de precipitação, porém com sinal oposto. Os modos encontrados para o clima futuro são um pouco parecidos com os modos encontrados pelo modelo RegCM3 para o clima presente, como pode-se observar comparando com as figuras 23a e b. O primeiro modo de variabilidade sem rotação para o Inverno na escala sinótica parece estar representando o período mais seco na região Sudeste do Brasil e este modo explica 12,22% da variância total.

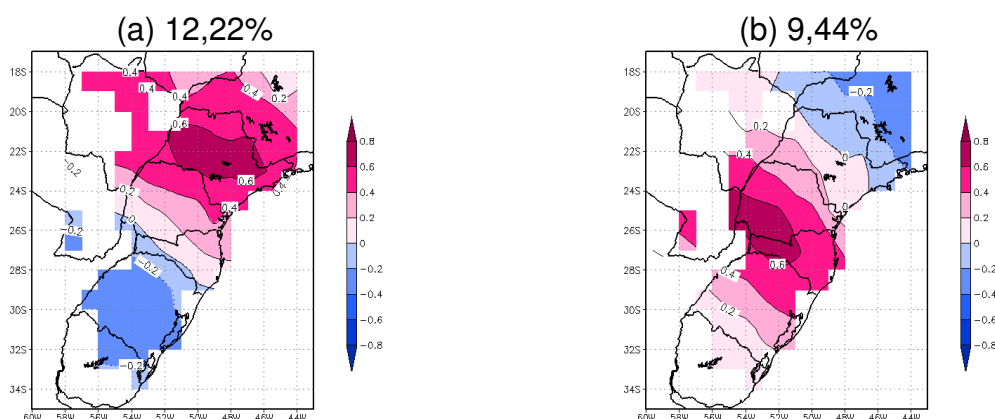


Figura 31 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O primeiro modo com rotação (figura 32^a) possui valores positivos concentrados sobre a região de São Paulo que é semelhante ao primeiro modo sem rotação para o Inverno, possivelmente representando a estação seca naquela região. A figura 32b com valores positivos sobre o Rio Grande do Sul pode estar relacionada com a estação seca no estado e este modo é semelhante ao segundo modo encontrado para os dados simulados pelo modelo PREC_RE e para os dados PREC_LA (figura 24b). O segundo modo de variabilidade com rotação explica 4,75% da variância total.

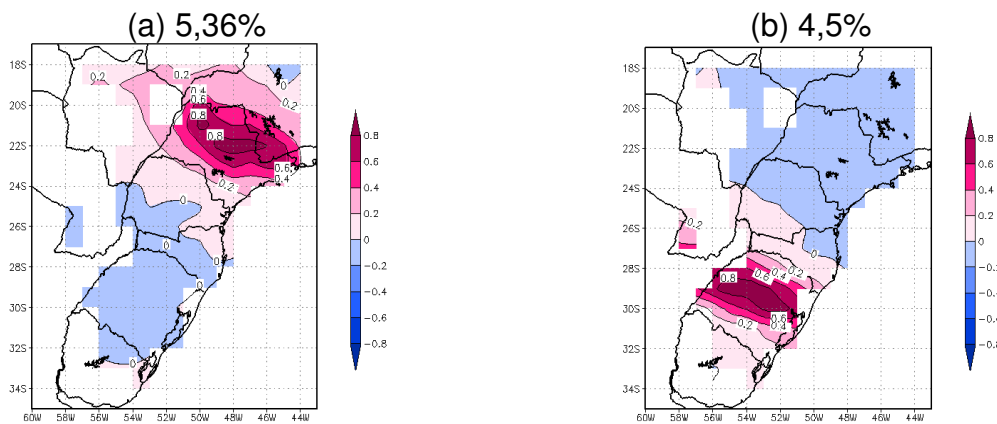


Figura 32 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

No primeiro modo sem rotação (figura 33a) observou-se valores negativos na região Sul do Brasil e positivos na região Sudeste durante a Primavera, sendo que os valores do Sudeste são menos intensos. Este primeiro modo é semelhante ao primeiro modo encontrado para os dados do modelo PREC_RE (figura 25a), apenas com a área negativa concentrada mais sobre o Rio Grande do Sul e é semelhante também, ao segundo modo de variabilidade para os dados PREC_LA (figura 20 b). A figura 33b, representando o segundo modo sem rotação durante a primavera, apresentou uma alternância entre valores negativos e positivos e é semelhante ao segundo modo encontrado para os dados do modelo PREC_RE, com os valores positivos sobre o Paraná, como pode ser observado na figura 25b. O primeiro modo de variabilidade sem rotação para a Primavera explica 8,67% da variância total.

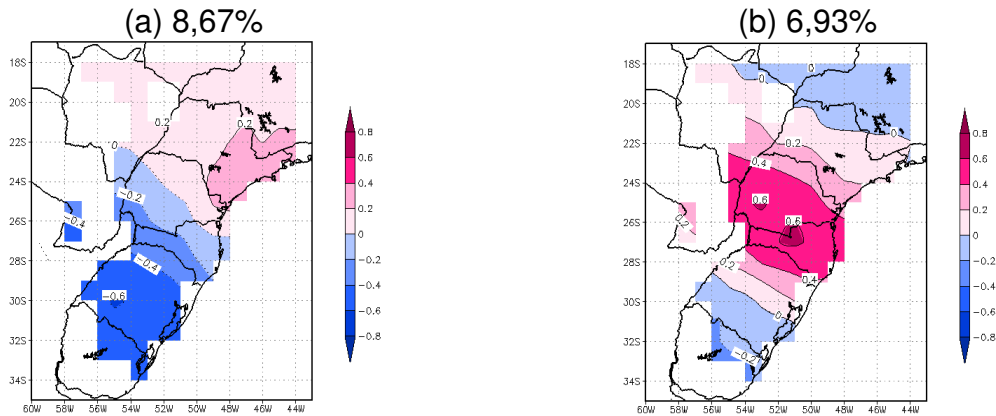


Figura 33 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

A figura 34a representa o primeiro modo de variabilidade com valores negativos no extremo sul do Rio Grande do Sul e o segundo modo representado pela figura 34b apresenta valores positivos no extremo Sul do Brasil, estes modos não foram encontrados nem nos modos simulados pelo modelo nem nos modos para os dados de precipitação. A figura 34c representa o quarto modo de variabilidade com rotação e apresenta valores negativos no Rio Grande do Sul e positivos na região Sudeste, sendo que os valores no Sul são maiores em módulo, representando o Modo Sul. Este modo foi encontrado no primeiro modo para os dados de precipitação e para os dados simulados pelo modelo PREC_RE, como pode ser observado nas figuras 18a e 26a, respectivamente. Então, o Modo Sul foi representado pelo quarto modo de variabilidade com rotação explica 2,56% da variância total.

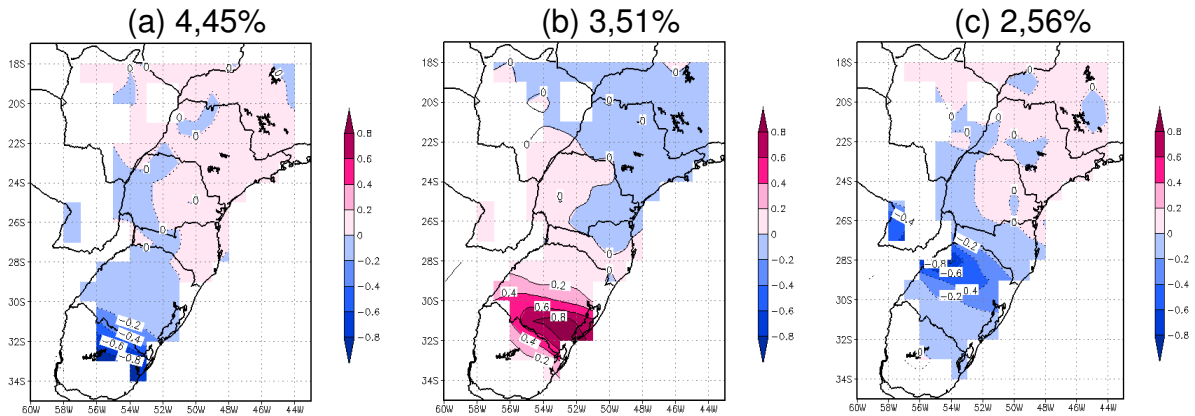


Figura 34 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.

O primeiro modo sem rotação para o verão (figura 35a) apresentou valores negativos na região Sul e positivos na região Sudeste, este modo é semelhante ao primeiro modo encontrado para os dados PREC_RE para o clima presente (figura 27a). E o segundo modo apresentou valores positivos sobre a região Sul e Sudeste (figura 35b) não foi encontrada em nenhum dos modos anteriores. Então, o primeiro modo de variabilidade sem rotação para o Verão explica 8,61% da variância total.

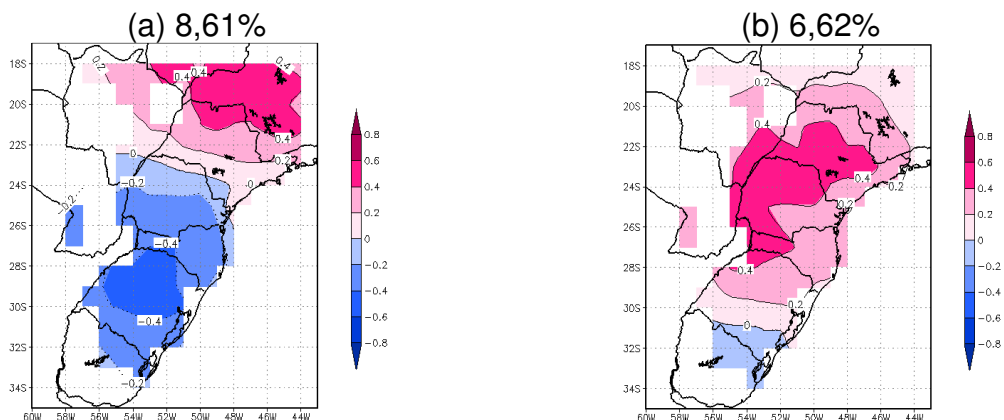


Figura 35 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Para o primeiro modo rotacionado para o verão, observou-se valores negativos sobre o Rio Grande do Sul e positivos na região Sudeste, sendo que os valores negativos são maiores em módulo que os da região Sudeste, representando

o Modo Sul (figura 36a). Este modo foi encontrado para os dados PREC_LA no quinto modo de variabilidade (figura 20c). Valores positivos na região Sudeste e negativos e menos intensos na região Sul foram encontrados no segundo modo de variabilidade (figura 36b), este modo é semelhante ao primeiro e segundo modos encontrados para os dados PREC_RE. Logo, o primeiro modo representando o Modo Sul explica 3,21% da variância total.

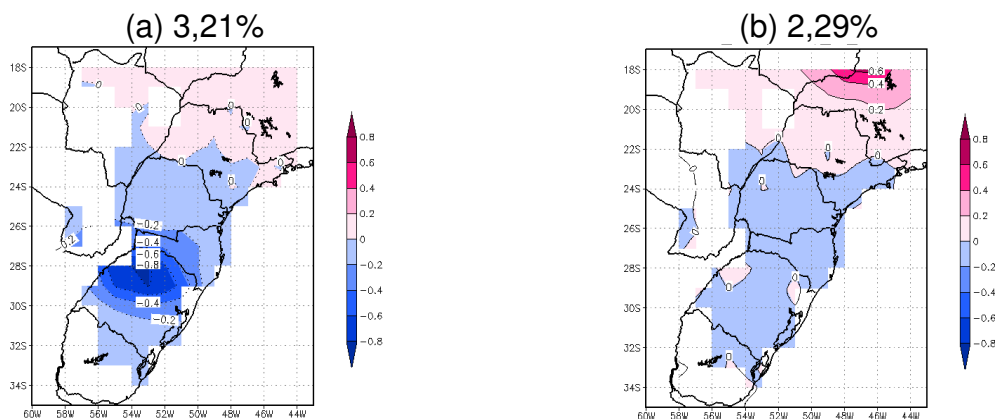


Figura 36 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda sinótica (2-20 dias) no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

3.2.2 Banda Intrasazonal

A seguir serão apresentados os modos de variabilidade na precipitação para a banda intrasazonal que é uma variabilidade de baixa frequência, normalmente abrangendo períodos maiores que 10 dias, neste estudo usou-se a banda 20 a 100 dias.

No primeiro modo de variabilidade sem rotação para o outono (figura 37a) observou-se um dipolo de precipitação com valores negativos mais ao sul e positivos na região Sudeste, que pode estar associado ao período mais seco na região Sudeste e um período mais chuvoso no extremo Sul do país. E no segundo modo observaram-se valores negativos sobre toda a região Sul, que se pode considerar uma fase inativa da oscilação de Madden e Julian (OMJ) atuando sobre o sudeste brasileiro e, assim, a consequência são episódios de chuva no Sul do país (figura

37b). Assim, a variabilidade intrasazonal neste caso foi melhor “descrita” pelo 1º modo sem rotação e este explica 23,23% da variância total.

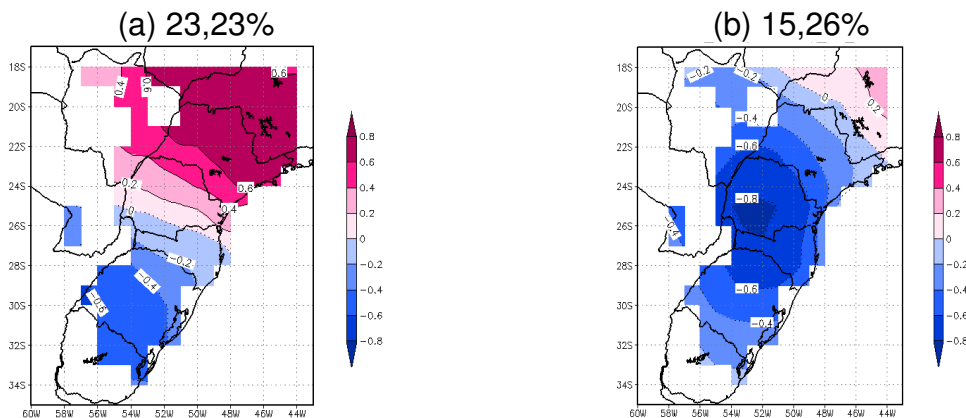


Figura 37 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Para os modos rotacionados observou-se valores negativos na região Sul e positivos na região Sudeste, que são maiores em módulo, possivelmente caracterizando um período sem chuvas na região (figura 38a). O segundo modo (figura 38b) apresentou valores positivos e maiores em módulo no Sul e negativos no Sudeste e isto pode estar associado a maiores volumes de precipitação no Sul associados ao Modo Sul, que aparece com sinal contrário aos modos anteriores. O quarto modo com valores negativos sobre a região Sul do Brasil pode estar associado com uma fase inativa da OMJ na região Sudeste, favorecendo aos maiores volumes de precipitação (figura 38c). O segundo modo representa o Modo Sul e explica 9,6% da variância total.

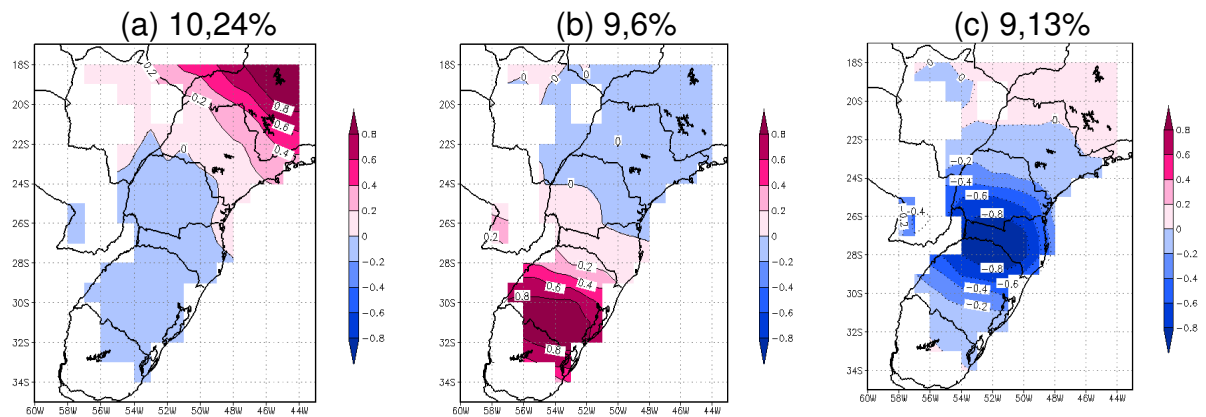


Figura 38 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.

Os dois modos encontrados para o inverno (figuras 39 a,b) são semelhantes aos modos sem rotação para o Outono, onde o primeiro modo parece indicar uma fase seca no Sudeste e o segundo modo a fase chuvosa na região Sul. O segundo modo sem rotação na banda intrasazonal de precipitação durante o Inverno, explica 26,91% da variância total.

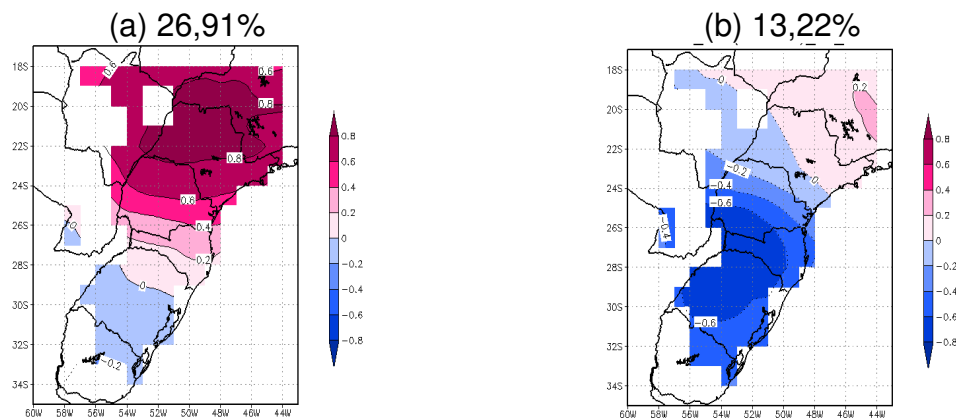


Figura 39 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O primeiro modo de variabilidade na figura 40a apresenta valores positivos sobre parte das regiões Sudeste e Centro-Oeste, este modo é semelhante ao modo sem rotação para o Inverno. No segundo modo (figura 40b) foram observados valores negativos na região Sul e valores positivos na região Sudeste, sendo que os

valores positivos são maiores em módulo, que indica a estação seca nesta região durante o Inverno. E o quinto modo de variabilidade apresentou valores negativos no Sul e positivos no Sudeste, com os valores da região Sul maiores em módulo que parecem caracterizar o Modo Sul (figura 40c). Assim, o quinto modo de precipitação na escala intrasazonal com rotação explica 4,69% da variância total (e os quatro primeiros modos explicam juntos 43,54%).

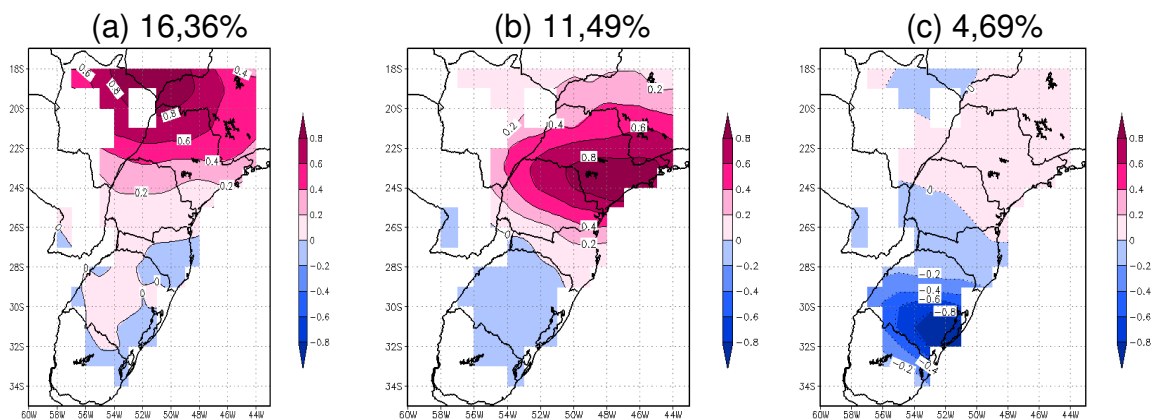


Figura 40 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quinto Modo.

Para a primavera, o primeiro modo apresentou valores negativos na região Sul e positivos no Sudeste, que pode estar relacionado a um período seco ou chuvoso no Sudeste (figura 41a). E o segundo modo de variabilidade apresentou valores negativos sobre grande parte da região Sul mostrando o sinal da variabilidade intrasazonal nas precipitações do Sul do Brasil (figura 41b). Na primavera a OMJ já está em atividade no Sudeste do Brasil e este modo possivelmente está indicando uma das fases desta oscilação. Então, a banda intrasazonal está representada pelo segundo modo de variabilidade sem rotação e explica 16,53% da variância total, durante a primavera.

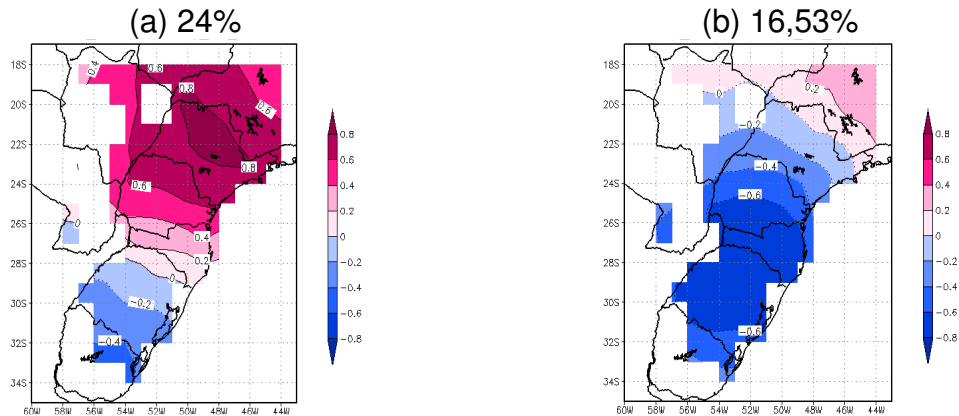


Figura 41 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Para o primeiro modo rotacionado (figura 42a) os valores positivos sobre o Sudeste parecem estar relacionados com a atuação da ZCAS. Já para o segundo modo (figura 42b), o núcleo com valores positivos sobre o Paraná parece ser a junção dos dois primeiros modos sem rotação (figura 41a,b). E o terceiro modo mostra o Modo Sul com valores negativos na região Sul, que são maiores em módulo que na região sudeste (figura 42c). Assim, o Modo Sul foi encontrado no terceiro modo com rotação e explica 10,11% da variância total (os dois primeiros modos explicam juntos 23,51%).

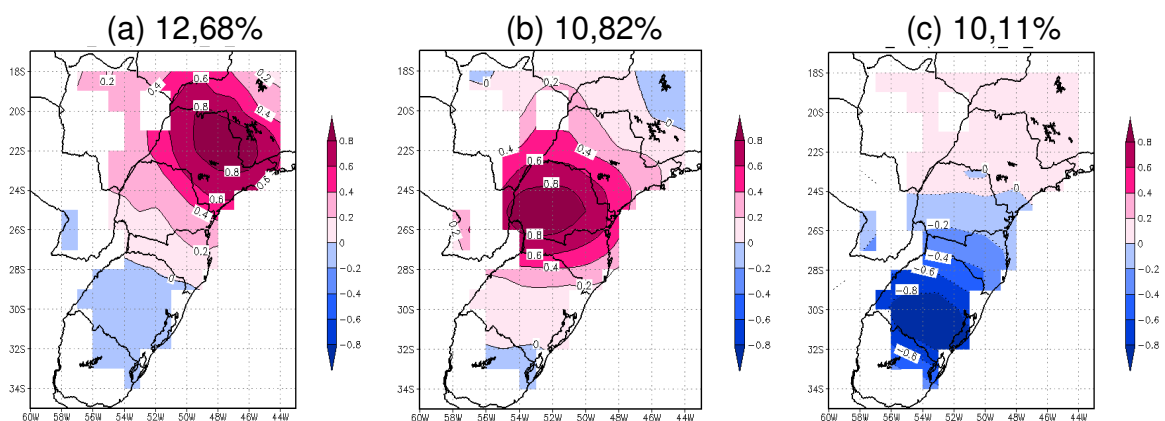


Figura 42 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.

Na análise para o verão na banda intrasazonal observou-se um dipolo de precipitação, com valores positivos no Sudeste e negativos no Sul, que pode caracterizar a estação chuvosa no Sudeste em função da ZCAS e a estação mais seca no Sul (figura 43a). No verão um modo de variabilidade bem ativo é o Modo de Dipolo primeiro definido por Paegle et al., (1997) e depois confirmado por Ferraz (2004). Já o segundo modo (figura 43 b) apresenta valores positivos, com núcleo sobre o Paraná, tendo este modo sido denominado “modo ZCAS – SUL” (ZCS) por Ferraz, (2004). O primeiro modo de variabilidade sem rotação para o Verão representa 26,23% da variância total.

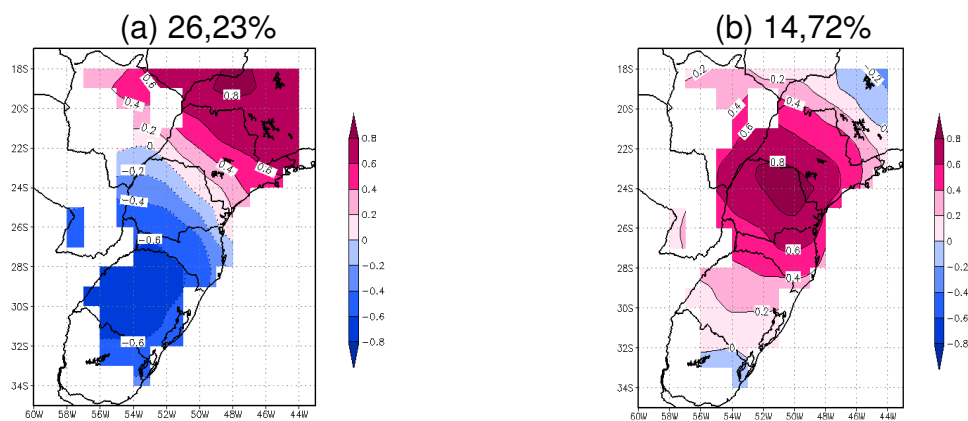


Figura 43 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Com a rotação, observaram-se no primeiro modo, valores positivos na região Sudeste e negativos no Sul, sendo que os valores no Sudeste são maiores em módulo, com núcleo sobre Minas Gerais (figura 44a). O segundo modo (figura 44b) apresentou a mesma variação, porém o núcleo positivo está mais ao sul (sobre São Paulo). Estes dois padrões são parecidos aos encontrados por Ferraz (2004), que denominou como Modo ZCN (“Modo – ZCAS Norte”) o primeiro. O outro é o modo ZCS. No quarto modo de variabilidade (figura 44c) observaram-se mais uma vez valores negativos sobre a região Sul e maiores em módulo que os da região Sudeste, caracterizando o Modo Sul mais ao sul da sua posição normal.

Em Ferraz (2004) verificou-se que a variabilidade na banda sinótica é mais intensa no Sul do Brasil que a variabilidade intrasazonal. Talvez isto explique por

que este modo fica bem definido na banda sinótica e num período em que a variabilidade sinótica é bem ativa (primavera). Assim, encontrou-se o Modo Sul no quarto modo de variabilidade intrasazonal sem rotação, explicando 9,4% da variância total.

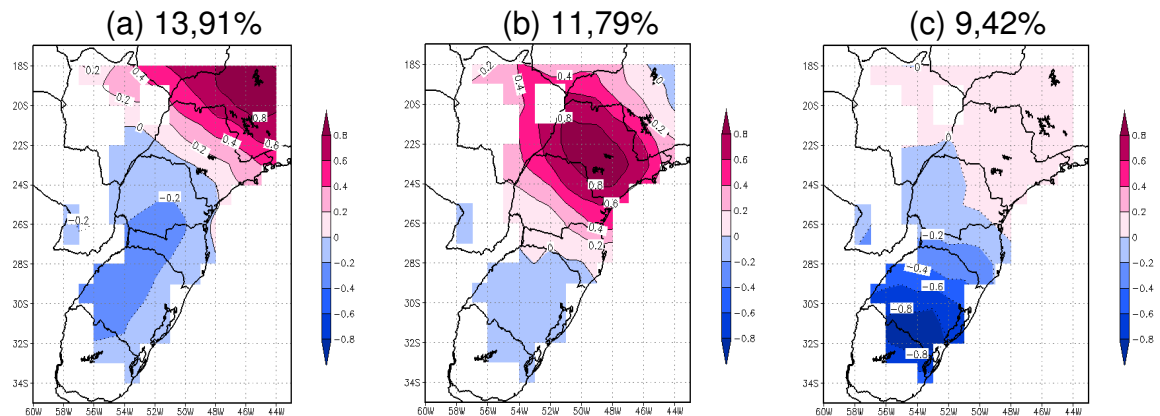


Figura 44 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.

A seguir serão analisados os modos de variabilidade na banda intrasazonal simulados pelo modelo RegCM3 (PREC_RE).

Para o outono observou-se um dipolo de precipitação com valores positivos na região Sudeste e valores negativos no Sul (figura 45a) e é semelhante ao primeiro modo dos dados PREC_LA (figura 37a). No segundo modo observam-se valores positivos sobre toda a região Sul do Brasil (figura 45b), este modo também é semelhante segundo modo dos dados de precipitação (figura 34b), porém com sinal oposto. O primeiro modo sem rotação explica 16,71% da variância total.

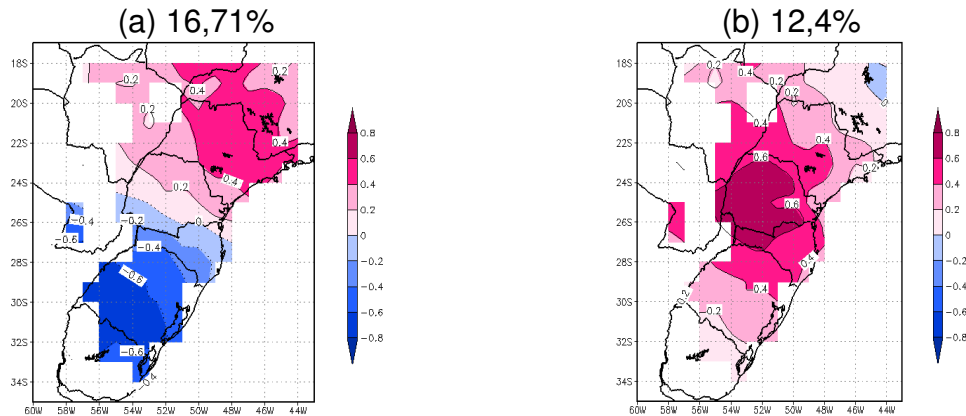


Figura 45 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O primeiro modo com rotação para o outono caracteriza o Modo Sul, com valores positivos na região Sudeste e valores negativos no Sul, sendo que os valores negativos são maiores em módulo (figura 46a), este modo foi encontrado no segundo modo com rotação para os dados PREC_LA (figura 38b), com sinal oposto. O segundo modo de variabilidade (figura 46b) apresentou apenas uma alternância de sinais. O primeiro modo representa 9,53% da variância total.

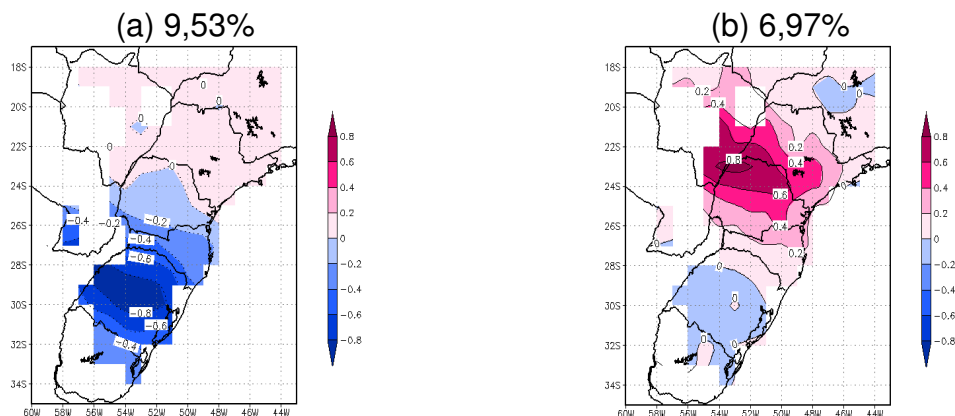


Figura 46 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

No inverno observou-se no primeiro modo sem rotação um dipolo de precipitação como visto nos modos encontrados para o Outono (figura 47a). E no segundo modo (figura 47b) observaram-se valores negativos sobre toda a região Sul

do país. Estes modos são semelhantes aos encontrados nos dados de precipitação (figuras 39 a,b, respectivamente), mas a intensidade do sinal no primeiro modo é mais fraca. O primeiro modo sem rotação explica 16,75% da variância total.

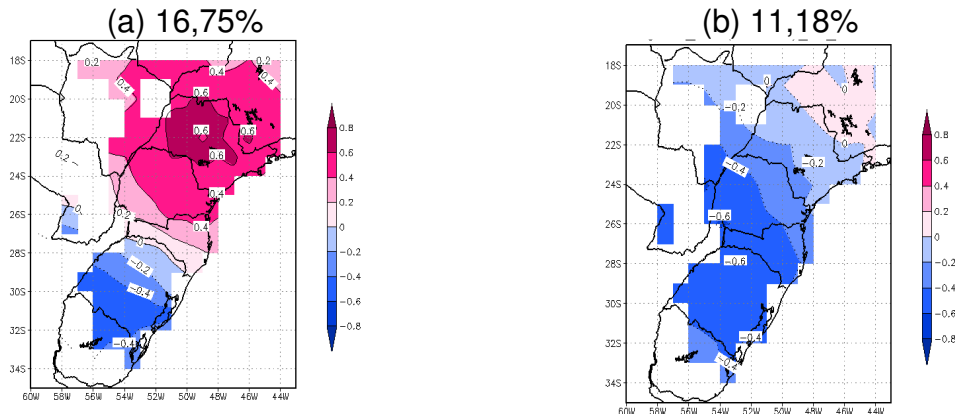


Figura 47 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Para o primeiro modo rotacionado, observou-se um núcleo com valores positivos sobre o Paraná que pode estar associado com eventos secos neste período do ano (figura 48a). E o segundo modo (figura 48b) apresentou valores negativos na região Sudeste, que durante o inverno supostamente devem estar associados a eventos secos. O sexto modo de variabilidade (figura 48c) que caracteriza o Modo Sul, que foi encontrado no quinto modo nos dados de precipitação (figura 40c). Então, o Modo Sul representado pelo sexto modo de variabilidade com rotação, explica 4,5% da variância total.

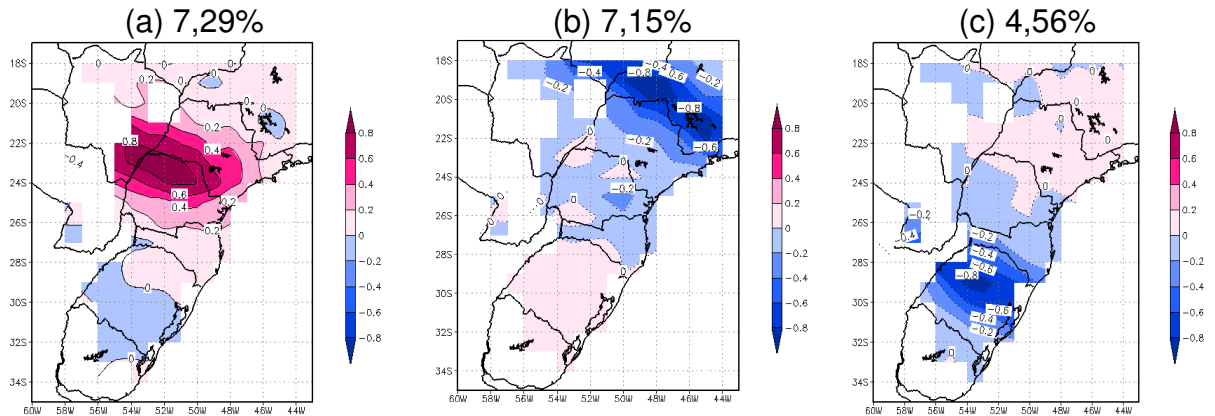


Figura 48 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Sexto Modo.

Para a primavera, o primeiro modo sem rotação apresentou um dipolo de precipitação (figura 49a) também encontrado nos dados PREC_LA (figura 41a), porém com menor intensidade. E no segundo modo observaram-se valores negativos sobre a região Sul (figura 49b), este modo é semelhante ao encontrado nos dados de precipitação (figura 41b). O primeiro modo de variabilidade é explicado por 15,63% da variância total.

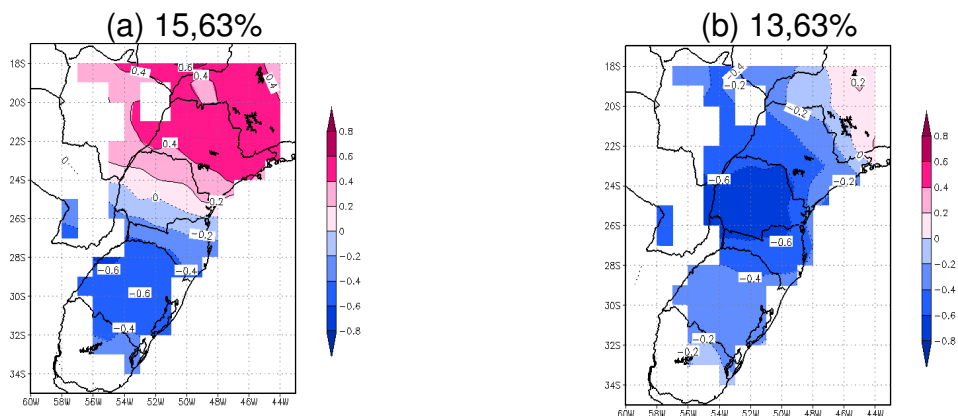


Figura 49 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O primeiro modo com rotação (figura 50a) apresentou comportamento semelhante ao segundo modo com rotação da precipitação observada (figura 42b) encontrado nos dados de precipitação para a Primavera. No segundo modo

rotacionado (figura 50b) observaram-se valores negativos sobre o Paraná e São Paulo. E no terceiro modo de variabilidade (figura 50c) apresentou valores negativos na região Sul e maiores em módulo que na região Sudeste (Modo Sul) também foi encontrado nos dados PREC_LA no terceiro modo com rotação (figura 42c). O terceiro modo com rotação explica 6,73% da variância total.

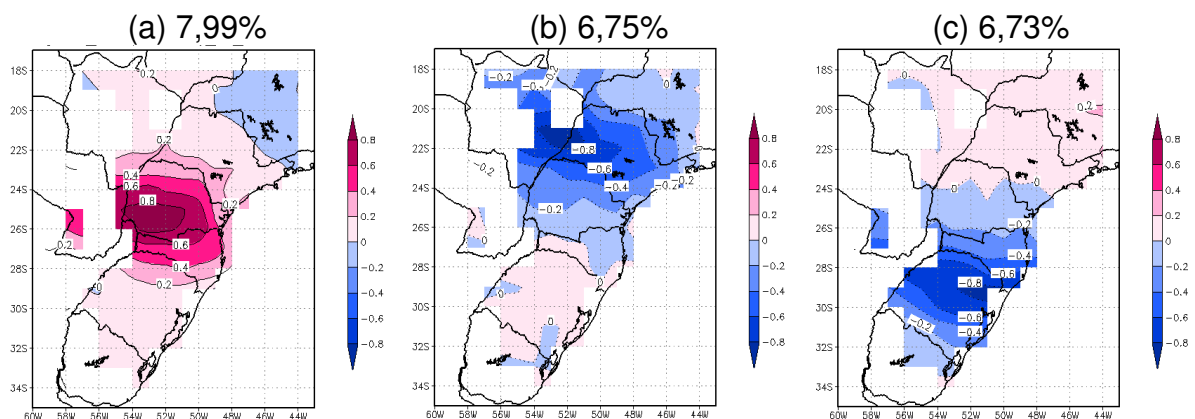


Figura 50 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.

Para o verão, o primeiro e segundo sem rotação (figuras 51a,b) representam, respectivamente, repetem o mesmo comportamento dos modos dos dados PREC_LA (figuras 43a,b). O primeiro modo de variabilidade é explicado por 14,67% da variância total.

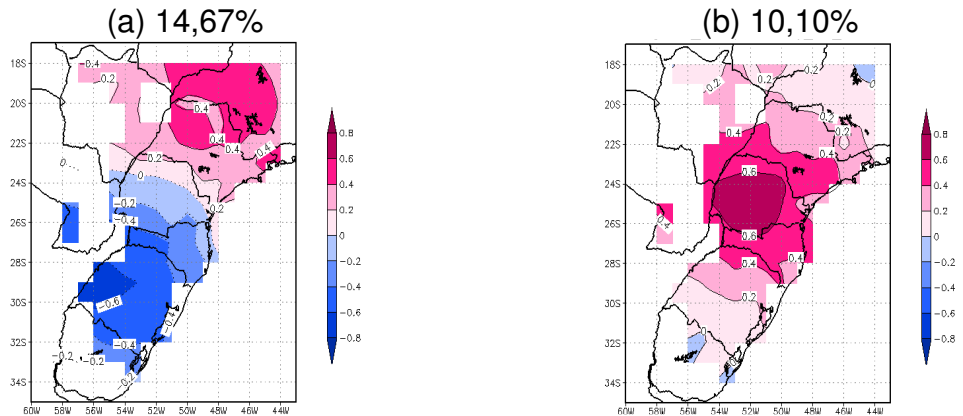


Figura 51 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal de 20-100 dias – sem rotação, para o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

No caso rotacionado, o primeiro modo apresentou valores positivos sobre Santa Catarina e Paraná, que pode estar relacionado às chuvas de verão naquela região (figura 52a). E o segundo modo figura 52b repetiu o mesmo comportamento do quarto modo de variabilidade com rotação dos dados PREC_LA (figura 44c) e que caracteriza o Modo Sul. Logo, o Modo Sul é caracterizado pelo segundo modo com rotação e é explicado por 6,18% da variância total. Em geral, o que se observou foi uma boa concordância entre os modos encontrados nos dois conjuntos de dados.

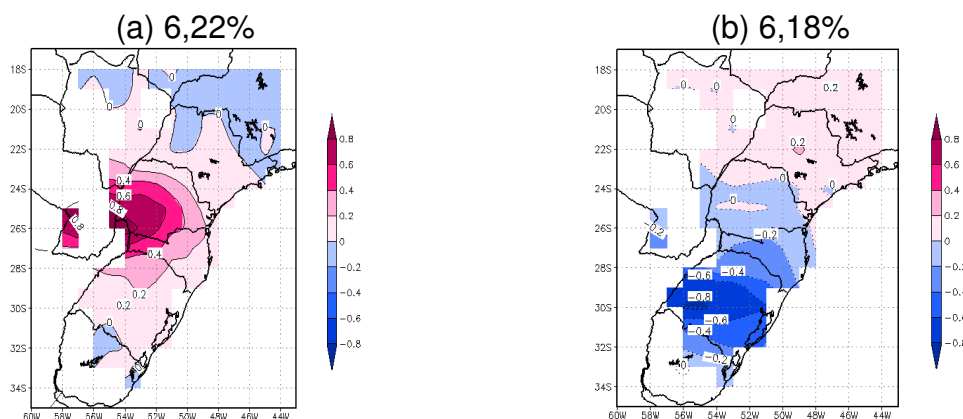


Figura 52 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Analisando os modos para os dados PREC_FU, encontrou-se para o outono, que o primeiro modo de variabilidade apresentou valores negativos sobre o Rio

Grande do Sul e positivos sobre o Paraná e região Sudeste, provavelmente associado à fase inativa da OMJ durante o Outono (figura 53a). Este modo é semelhante ao primeiro modo encontrado para os dados PRE_RE (figura 45a) e é semelhante também ao primeiro modo encontrado para os dados PREC_LA (figura 37a). O segundo modo apresentou valores negativos sobre toda a região Sul do Brasil (figura 53b), semelhante ao segundo modo encontrado para os dados PREC_LA (figura 37b), já para os dados PREC_RE a área com sinal mais forte é a mesma, porém com sinal contrário (figura 45b). Assim, a variabilidade intrasazonal mais atuante no Rio Grande do Sul foi encontrada no segundo modo de variabilidade que explica 17,01% da variância total.

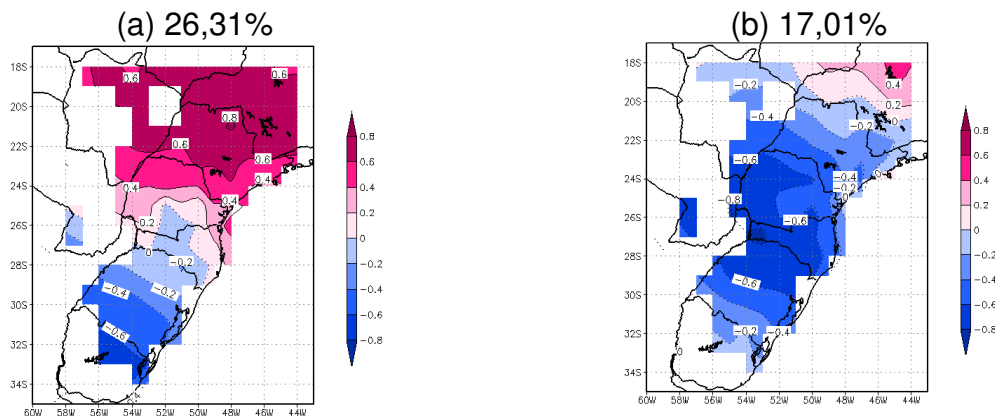


Figura 53 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O primeiro modo de variabilidade rotacionado apresentou valores negativos entre as regiões Sul e Sudeste do país (figura 54a). No segundo modo observou-se valores negativos sobre a região Sul, mas não muito intensos e valores positivos na região Sudeste (figura 54b). Este modo é semelhante ao encontrado para o primeiro modo de variabilidade para os dados PREC_LA. E o terceiro modo (figura 54c) apresentou valores negativos na região Sul e valores positivos na região Sudeste, sendo que os valores negativos são maiores em módulo, que tem o comportamento muito parecido com o Modo Sul, encontrado por Pampuch (2010). Este mesmo comportamento foi encontrado no primeiro modo de variabilidade com rotação para os dados PREC_RE (figura 46c) e no quarto modo de variabilidade para os dados

PREC_LA (figura 38c). Assim, o Modo Sul é representado pelo terceiro modo de variabilidade e explica 8,35% da variância total.

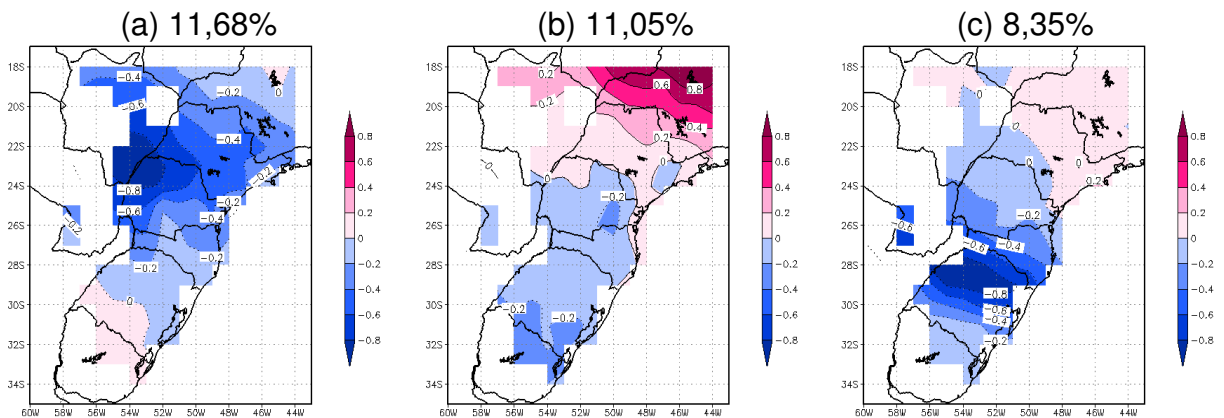


Figura 54 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.

O primeiro modo de variabilidade sem rotação para o inverno (figura 55a) apresentou um dipolo de precipitação, com valores negativos na região Sul e valores positivos na região Sudeste, provavelmente estejam associados a um período menos chuvoso nesta região. Este modo é semelhante ao encontrado nos dados PREC_LA, porém com sinal mais intenso (figura 39a) e é semelhante também ao primeiro modo para os dados PREC_RE (figura 47a). E o segundo modo sem rotação apresentou valores positivos sobre a região Sul do Brasil, este modo não foi encontrado em nenhum dos outros dois conjuntos de dados, pois os outros modos apresentaram valores negativos na região Sul do país (figura 55b). Então, o modo de variabilidade intrasazonal mais significativa no Rio Grande do Sul para o Inverno foi encontrada no primeiro modo sem rotação que explica 26,12% da variância total.

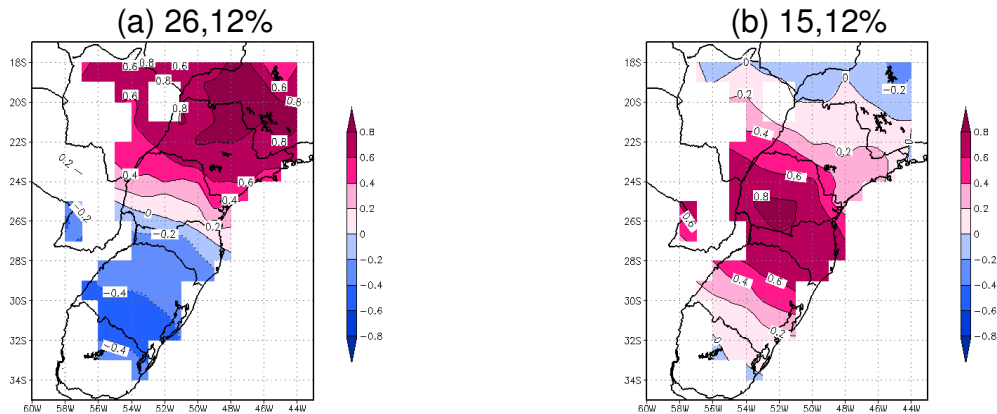


Figura 55 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Para o primeiro modo com rotação observaram-se valores negativos na região Sul e positivos na região Sudeste (figura 56a), este primeiro modo é semelhante ao modo encontrado nos dados PREC_LA (figura 40a). No segundo modo observaram-se valores positivos concentrados sobre Santa Catarina e Paraná (figura 56b), semelhante ao segundo modo encontrado nos dados PREC_RE (figura 48a). E para o terceiro modo rotacionado (figura 56c) observaram-se valores negativos sobre o Rio Grande do Sul e positivos sobre a região Sudeste, sendo que os valores negativos no Sul são maiores em módulo, caracterizando o Modo Sul no quarto modo de variabilidade. Este modo foi encontrado também no quinto modo de variabilidade para os dados PREC_LA (figura 40c) e no sexto modo para os dados PREC_RE (figura 48c). Assim, o Modo Sul está representado pelo quarto modo de variabilidade com rotação para o Inverno e explica 6,49% da variância total.

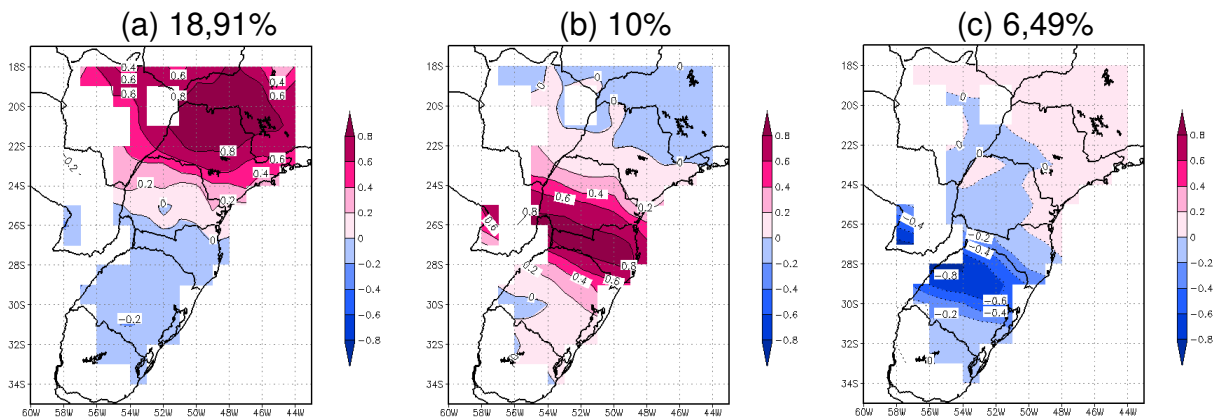


Figura 56 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.

Para a primavera o primeiro modo sem rotação apresentou valores negativos na região Sul e valores positivos na região Sudeste e estes valores positivos podem estar associados a eventos de pouca chuva na região (figura 57a). Este mesmo padrão foi encontrado no primeiro modo de variabilidade para os dados PREC_LA (figura 41a) e também no primeiro modo para os dados PREC_RE (figura 49a). O segundo modo (figura 57b) mostrou uma alternância de sinal e não foi encontrado em nenhum outro modo e também não possui nenhuma relação com eventos secos ou chuvosos na região de estudo. E o terceiro modo de variabilidade (figura 57c) apresentou valores positivos sobre toda a região Sul do Brasil, ou seja, tem sinal contrario aos modos encontrados para os dados PREC_LA e do PREC_RE. Então, durante a primavera a variabilidade mais importante é representada pelo primeiro modo sem rotação, que explica 18,31% da variância total.

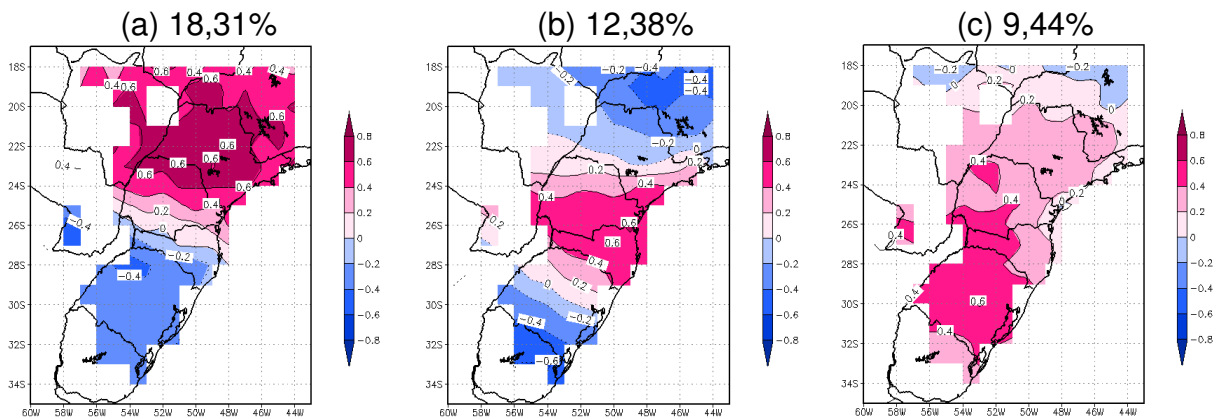


Figura 57 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.

No caso com rotação observaram-se valores negativos sobre o Rio Grande do Sul e positivos sobre Paraná e São Paulo, e estes valores positivos podem estar relacionados a eventos chuvosos na região Sudeste (figura 58a). Um comportamento semelhante a este foi encontrado no primeiro modo de variabilidade para os dados PREC_LA (figura 42a). Para o segundo rotacionado (figura 58b) apresenta valores positivos e fracos no Sul e valores negativos na região Sudeste, este modo é semelhante ao encontrado no segundo modo para os dados PREC_RE (figura 50b). E para o terceiro modo observou-se valores negativos na região Sul e positivos na região Sudeste, sendo que os valores negativos são maiores em módulo que os do Sudeste (figura 58c), caracterizando o Modo Sul, que também foi encontrado no terceiro modo com rotação tanto para os dados PREC_LA como para os dados PREC_RE (figuras 42c e 50c, respectivamente). Assim, o Modo Sul é representado pelo terceiro modo de variabilidade com rotação para a Primavera e explica 7,26% da variância total.

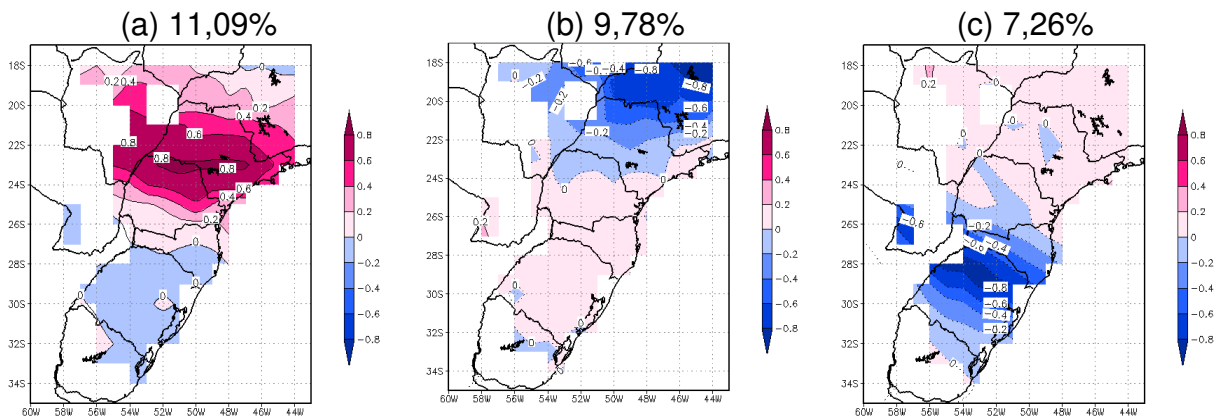


Figura 58 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.

Para o verão, o primeiro modo sem rotação apresentou valores positivos na região Sul e negativos na região Sudeste (figura 59a), este modo foi encontrado com sinal oposto para os outros dois conjuntos de dados. Da mesma forma aconteceu com o segundo modo de variabilidade, que para os dados PREC_FU (figura 59b) apresentou valores negativos sobre grande parte da região Sul e nos modos para os dados PREC_LA e PREC_RE foi encontrado valores positivos. O primeiro modo parece estar relacionado com eventos de chuva mais intensa na região Sudeste do país e explica 26,54% da variância total.

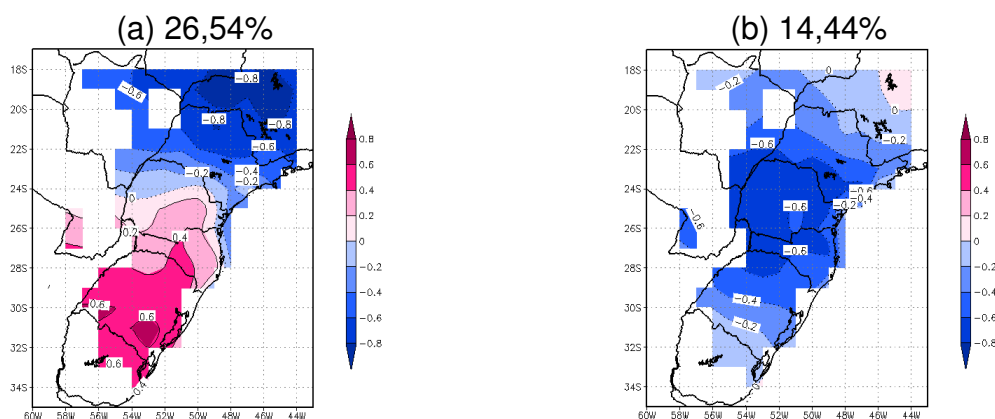


Figura 59 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O primeiro modo rotacionado apresentou valores positivos sobre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina e valores negativos na região Sudeste, estes valores negativos podem estar associados com a influência da ZCAS na região durante o Verão (figura 60a). Este modo é semelhante ao primeiro modo encontrado nos dados PREC_LA, porém com sinal contrário (figura 44a). O segundo modo de variabilidade (figura 60b) possui um núcleo com valores positivos sobre o Rio Grande do Sul e valores negativos fracos na região Sudeste, este modo pode estar representando o Modo Sul, porém tem sinal oposto aos modos encontrados anteriormente. O terceiro modo apresentou forte sinal negativo sobre o norte do Paraná e São Paulo, este sinal pode estar associado com a atuação da ZCAS nesta época do ano (figura 60c) e é semelhante ao segundo modo encontrado para os dados PREC_LA, com sinal contrário. Assim, o terceiro modo de variabilidade com rotação para o verão representa 8,52% da variância total.

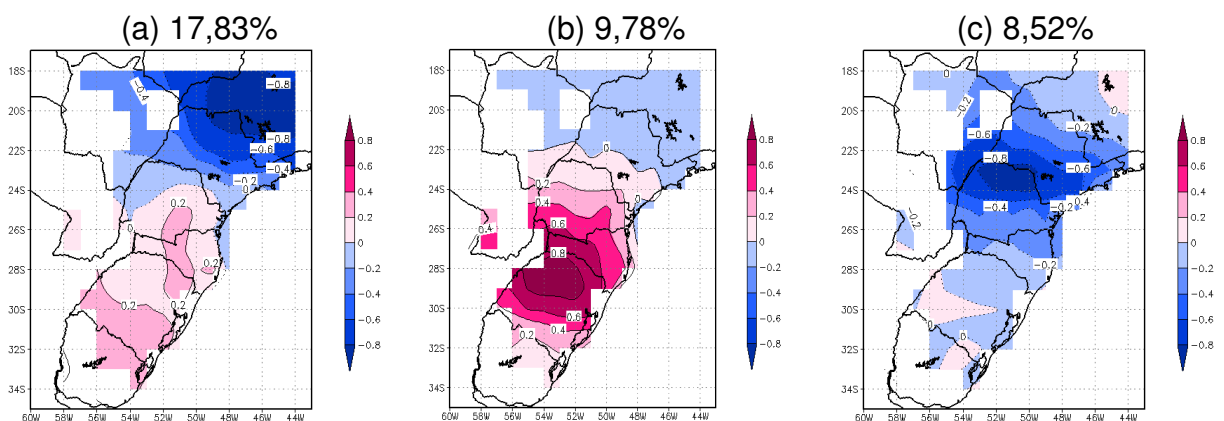


Figura 60 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda intrasazonal (20-100 dias) no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.

3.2.3 Banda Interanual

A variabilidade interanual (mais baixa frequência que a sinótica e a intrasazonal) apresenta significativa contribuição para a variância da precipitação em várias regiões. No entanto, mesmo essa contribuição sendo geralmente menor que a

da variabilidade sinótica e intrasazonal, ela representa um importante modulador destas variabilidades de mais alta frequência.

No outono, o primeiro modo (figura 61a) apresentou uma grande área com valores negativos sobre a região Sul do Brasil, possivelmente indicando a área de atuação do fenômeno El Niño, com chuvas acima da média. E no segundo modo sem rotação (figura 61b) observou-se um dipolo de precipitação com valores positivos na região Sudeste e negativos no Sul. Este segundo modo é semelhante ao encontrado na análise das bandas sinótica (figura 13b) e intrasazonal (figura 21a), o que sugere uma interação entre as diversas bandas. O primeiro modo sem rotação explica 28,49% da variância total e o segundo modo explica 23,01%.

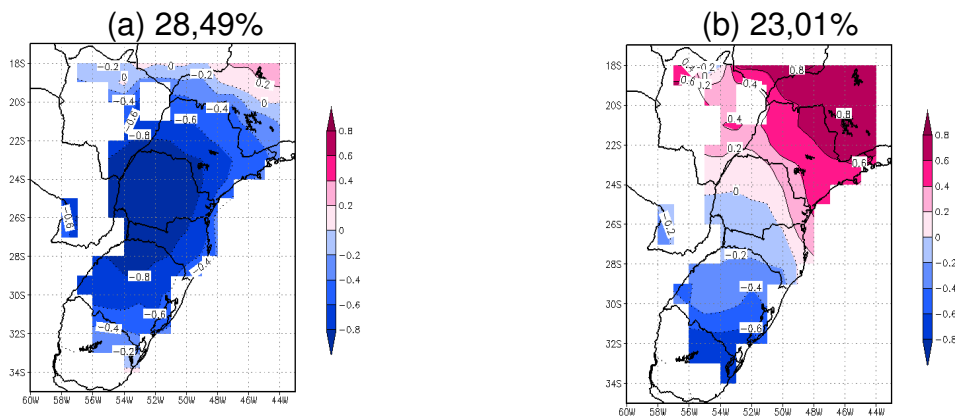


Figura 61 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda interanual, no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Na análise com rotação para o primeiro modo, também se observou o forte sinal do El Niño, em que a área negativa ficou mais restrita sobre o Paraná. E no segundo modo (figura 62b) mostra valores negativos não muito expressivos sobre a região Sul e valores positivos sobre Minas Gerais. E para o quarto modo com rotação (figura 62c) observou-se áreas negativas concentradas sobre o Rio Grande do Sul, mas como no outono o impacto do El Niño não é tão marcante, este modo não é tão significativo nesta estação do ano. A variabilidade intrasazonal (figura 22b) e sinótica (figura 14c) é mais significativa nesta estação. O primeiro modo de variabilidade rotacionado explica 21,81% da variância total.

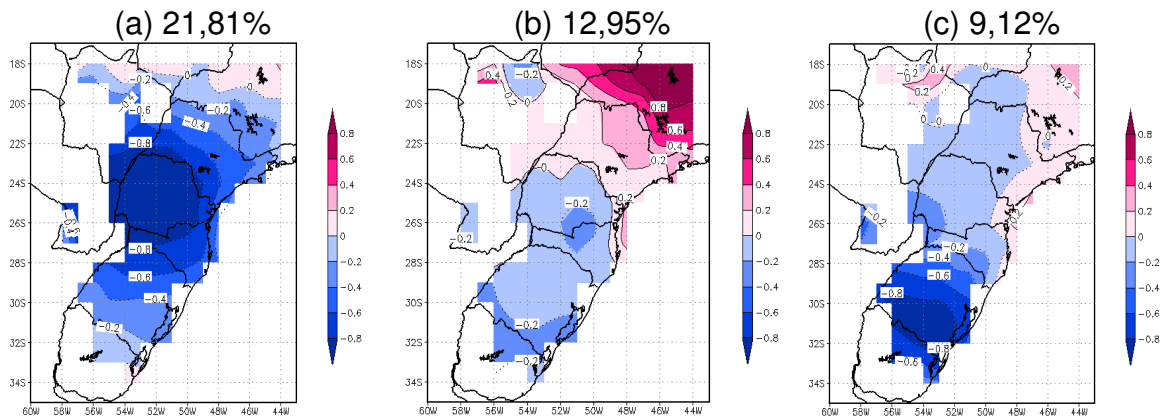


Figura 62 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.

O primeiro modo pra o inverno (figura 63a) apresentou valores negativos sobre parte da região Sul e Sudeste mapa e valores positivos no extremo sul da região Sul e isto pode estar associado a um período de poucas chuvas nesta região. E no segundo modo sem rotação (figura 63b) notou-se que a influência do fenômeno ENOS fica mais evidente (região Sul), como mostra a região com valores negativos sobre o Sul do Brasil. O modo de variabilidade interanual é encontrado no segundo modo sem rotação e explica 15,61% da variância total.

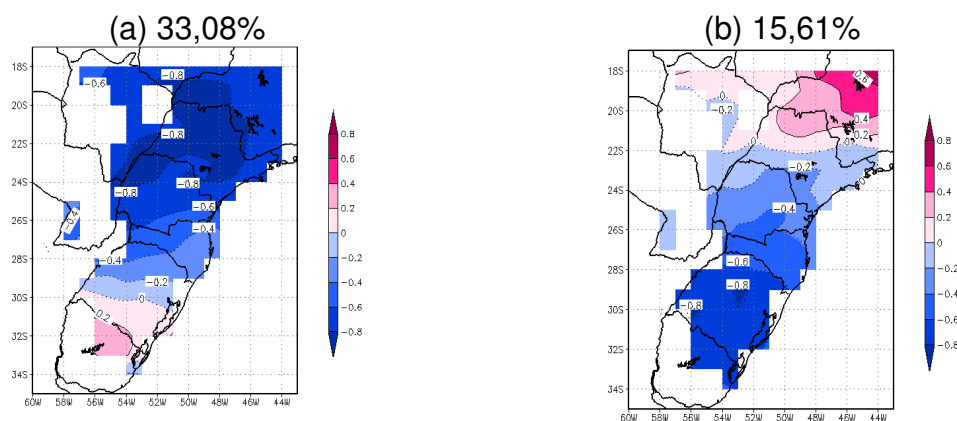


Figura 63 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Para os modos rotacionados observaram-se valores negativos sobre parte da na região Sul e no Sudeste (figura 64a), semelhante ao primeiro modo sem rotação para o Inverno. O segundo modo apresentou valores negativos concentrados sobre Santa Catarina (figura 64b) e o terceiro modo (figura 64c) apresentou valores negativos sobre o Rio Grande do Sul e positivos sobre o Sudeste, semelhante ao segundo modo sem rotação (figura 63b). Tanto o segundo quanto o terceiro modo são indicativos das alterações na precipitação que ocorrem durante anos ENOS. Assim, o terceiro modo com rotação é o que melhor representa a variabilidade interanual de precipitação no Rio Grande do Sul, explicando 12,18% da variância total.

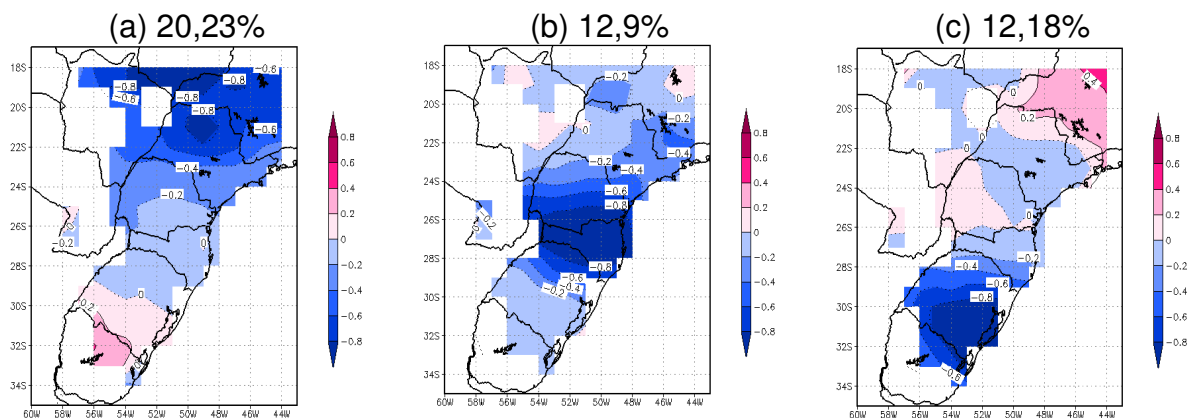


Figura 64 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.

Fortes correlações da TSM associadas ao ENOS mostram que a primavera é a estação mais propícia às teleconexões com o oceano Pacífico Tropical. Em razão dessas teleconexões mais fortes, o impacto de ENOS sobre a chuva no Sul do Brasil é mais forte na primavera (Grimm et al., 2000).

Para a primavera observou-se valores positivos na região Sudeste (figura 65a) no primeiro modo de variabilidade sem rotação. E o segundo modo (figura 65b) apresentou valores negativos sobre o Sul do Brasil, sendo que o segundo modo representa a área de atuação do fenômeno El Niño com os maiores volumes de precipitação durante a Primavera. Logo, o segundo modo sem rotação explica 22,63% da variância total.

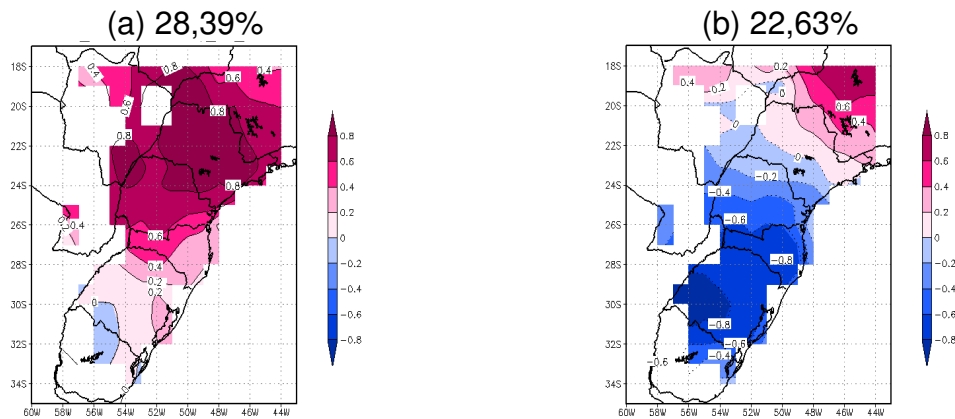


Figura 65 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O primeiro modo rotacionado (figura 66a) é semelhante ao primeiro modo sem rotação (figura 65a) com valores positivos concentrados sobre o Paraná. E o segundo modo (figura 66b) apresenta valores negativos sobre na região Sul e positivos sobre na região Sudeste. E o terceiro modo (figura 66c) é parecido com o segundo modo sem rotação e parece estar associado com precipitações acima da média no Sul do Brasil durante a Primavera. Assim, o terceiro modo de variabilidade com rotação representa melhor o sinal sobre o Rio Grande do Sul, e explica 13,54% da variância total.

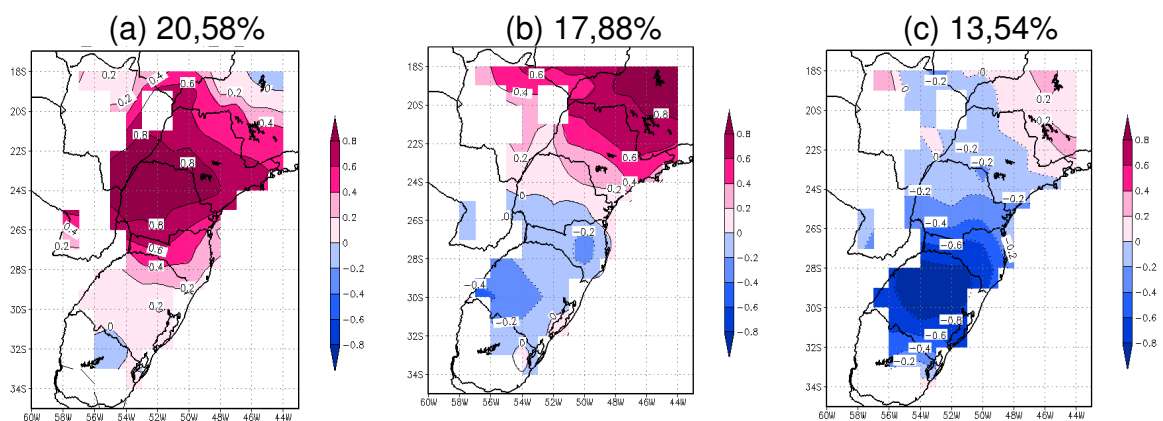


Figura 66 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda interanual no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.

O primeiro modo sem rotação para o verão (figura 67a) apresentou um padrão de dipolo de precipitação, com valores negativos na região Sul e positivos na região Sudeste, também indicando a influência do fenômeno de grande escala El Niño na região Sul do país, com altos índices pluviométricos durante o Verão. Já o segundo modo de variabilidade (figura 67b) mostrou valores positivos sobre na região Sudeste do Brasil, que pode estar associada à estação chuvosa nesta região. O primeiro modo sem rotação explica 28,03% da variância total.

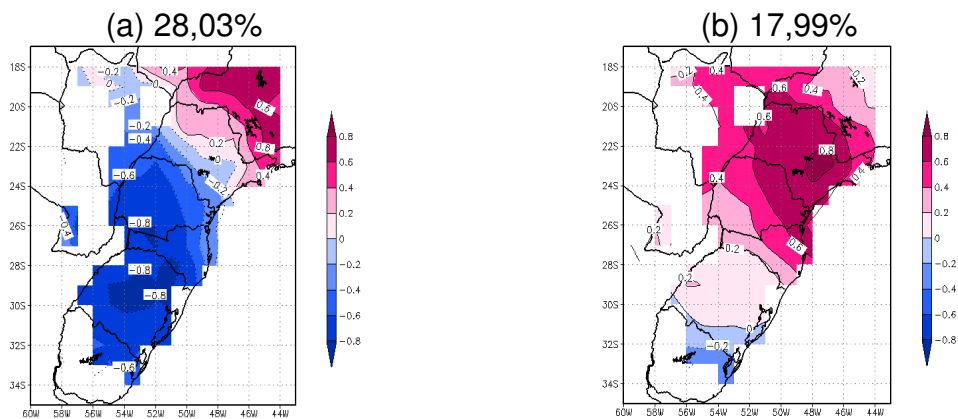


Figura 67 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA filtrados na banda interanual no modo sem rotação duante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O primeiro modo rotacionado para o verão (figura 68a) é semelhante ao primeiro modo sem rotação para o Verão, porém os valores na região Sudeste não são tão expressivos e, portanto não caracteriza um dipolo de precipitação, mas indica uma região preferencial ao maior impacto de fenômenos de grande escala. Já o segundo modo (figura 68b) apresenta valores negativos na região Sul e positivos e na região Sudeste. O primeiro modo de variabilidade interanual com rotação explica 15,35% da variância total.

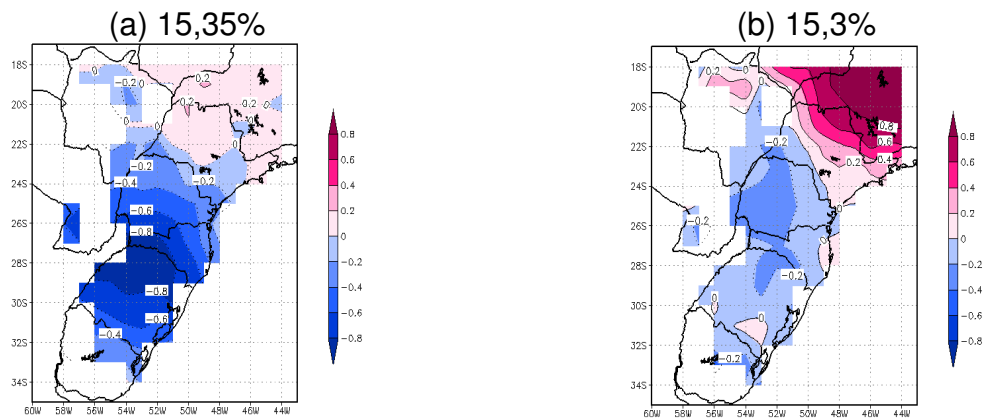


Figura 68 – Modos de variabilidade nos dados PREC_LA na banda interanual no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

A seguir, serão analisadas as componentes para os dados PREC_RE para a banda interanual.

No outono para o primeiro modo sem rotação, observou-se o mesmo comportamento encontrado nos dados PREC_LA, com valores negativos na região Sul e positivos na região Sudeste do Brasil (figura 69a). E o segundo modo de variabilidade apresentou valores positivos na região Sudeste e parte da região Sul do país (figura 69b). O primeiro modo sem rotação para o Outono explica 25,34% da variância total.

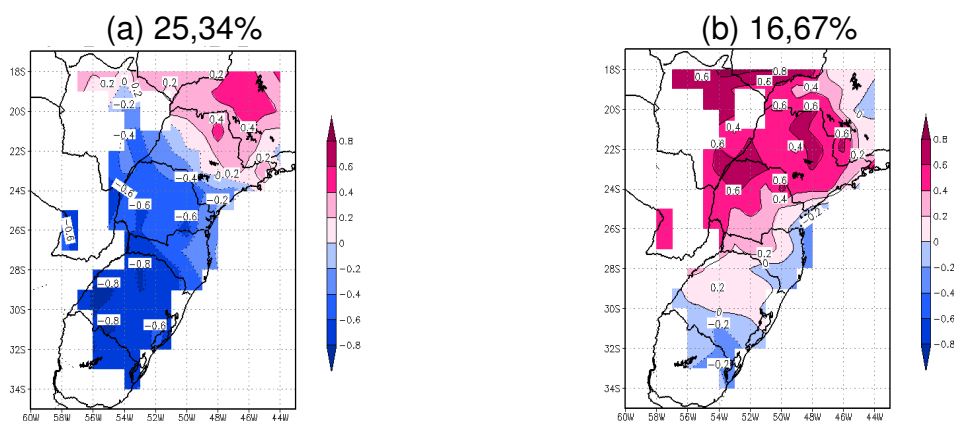


Figura 69 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O primeiro modo com rotação (figura 70a) apresentou valores negativos sobre o Paraná e é semelhante ao primeiro modo encontrado nos dados PREC_LA (figura 62 a). E o segundo modo (figura 70b) apresentou valores negativos sobre o Rio Grande do Sul é semelhante ao primeiro modo sem rotação e parece mostrar a região de maior influência o fenômeno ENOS. Então, o segundo modo de variabilidade com rotação explica 13,57% da variância total.

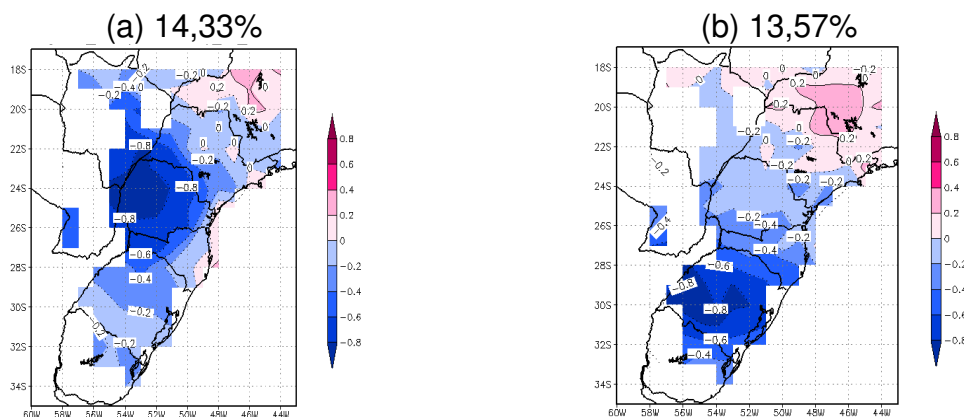


Figura 70 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Para o inverno, no primeiro modo sem rotação observou-se valores negativos na região Sul e na região Sudeste do país (figura 71a). E o segundo modo sem rotação apresentou um dipolo de precipitação, com valores negativos na região Sul e positivos no Sudeste, que pode estar relacionado com um período chuvoso no Sul e seco no Sudeste (figura 71b). O segundo modo é semelhante segundo modo encontrado nos dados de precipitação. Então, o segundo modo de variabilidade sem rotação explica 17,08% da variância total.

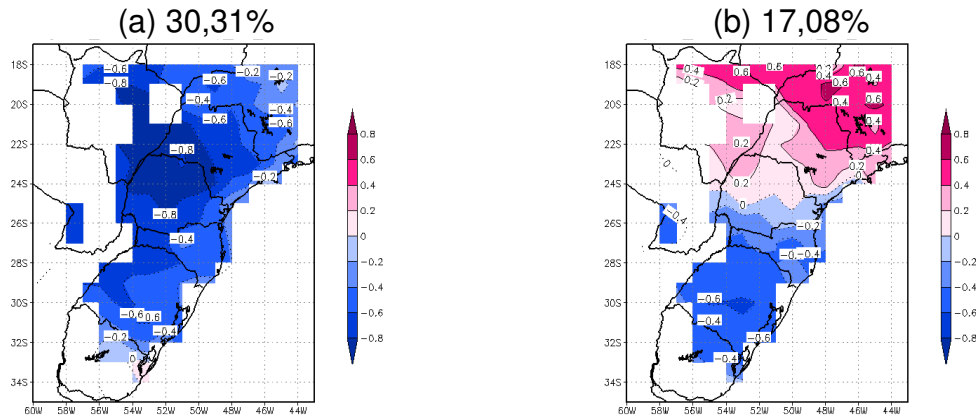


Figura 71 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

A figura 72a também se assemelha ao primeiro modo com rotação dos dados de precipitação, com os valores negativos mais expressivos na região Sudeste. O segundo modo (figura 72b) com valores negativos concentrado no Rio Grande do Sul é semelhante ao quarto modo encontrado nos dados de precipitação para o Inverno (figura 63 c). O segundo modo de variabilidade com rotação explica 15,62% da variância total.

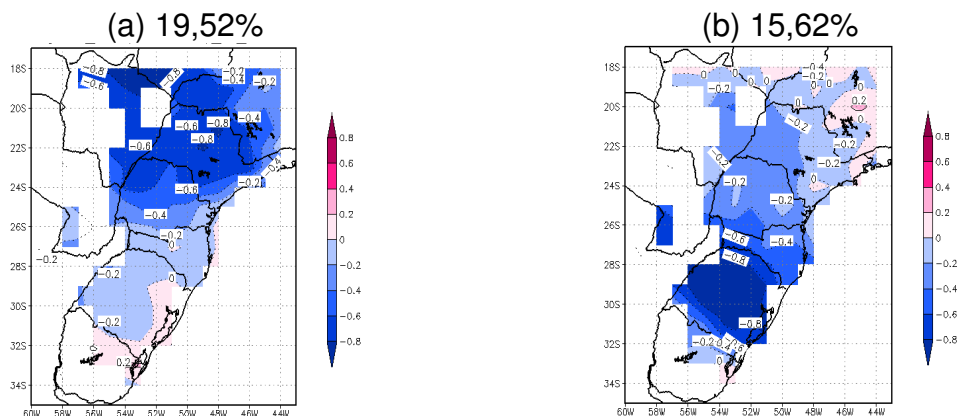


Figura 72 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

A figura 73a possui valores negativos sobre a região Sul e a figura 73b possui um comportamento parecido com o segundo modo dos dados de precipitação (figura

65b), porém os valores negativos neste caso são menos intensos. O primeiro modo representa a variabilidade interanual e explica 26,9% da variância total.

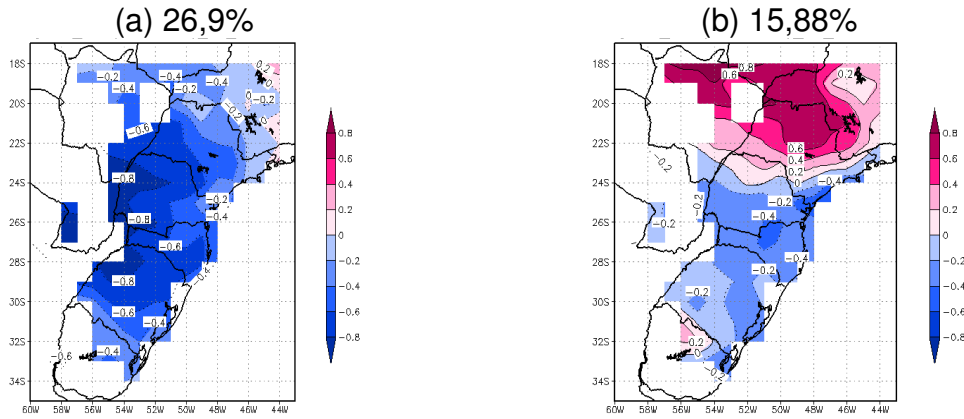


Figura 73 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

As figuras 74a e b são semelhantes aos modos sem rotação acima e o primeiro modo é semelhante ao primeiro modo dos dados de precipitação (figura 66b), apenas com sinal contrário. O primeiro modo representa 20,6% da variância total.

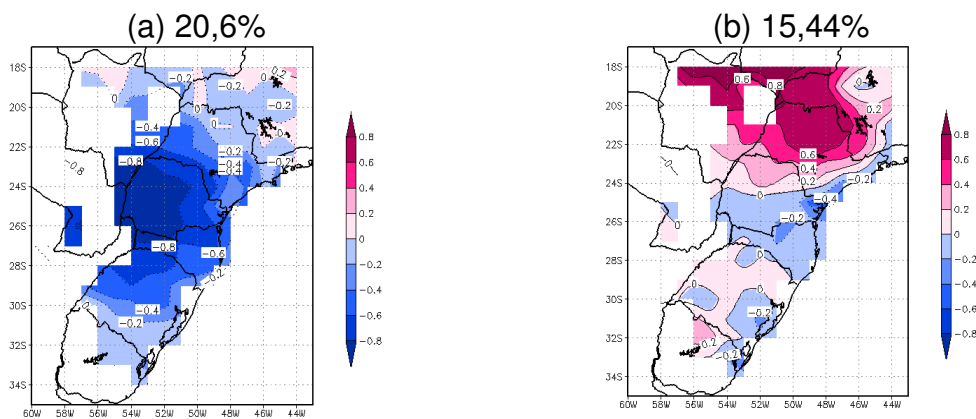


Figura 74 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

As figuras 75a e b são bastante parecidas com os modos encontrados nos dados de precipitação. O segundo modo (figura 75b) possui valores negativos sobre todo o Rio Grande do Sul, que nos dados de precipitação aparecem somente no Sul do estado. O primeiro modo sem rotação explica 23,01% da variância total.

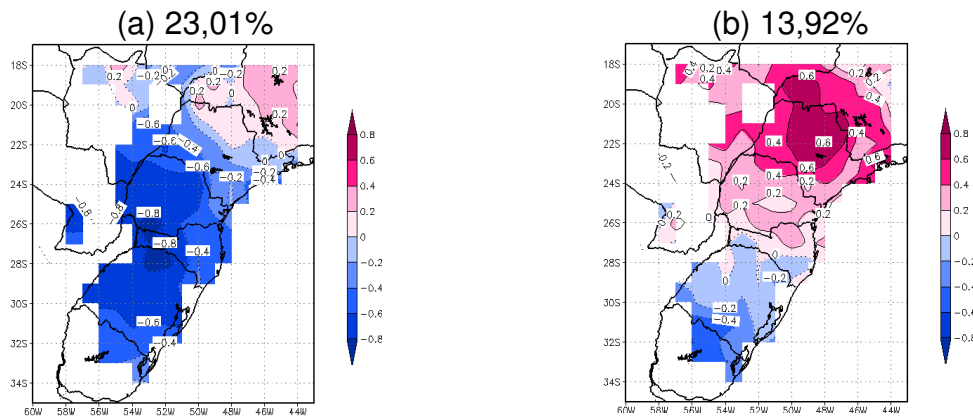


Figura 75 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O primeiro modo rotacionado (figura 76a) apresenta valores negativos sobre a região Sul do Brasil. A figura 76b mostra valores negativos concentrados sobre o Rio Grande do Sul e é semelhante ao primeiro modo encontrado nos dados PREC_LA (figura 68b). O segundo modo de variabilidade interanual com rotação para o Verão explica 12,48% da variância total.

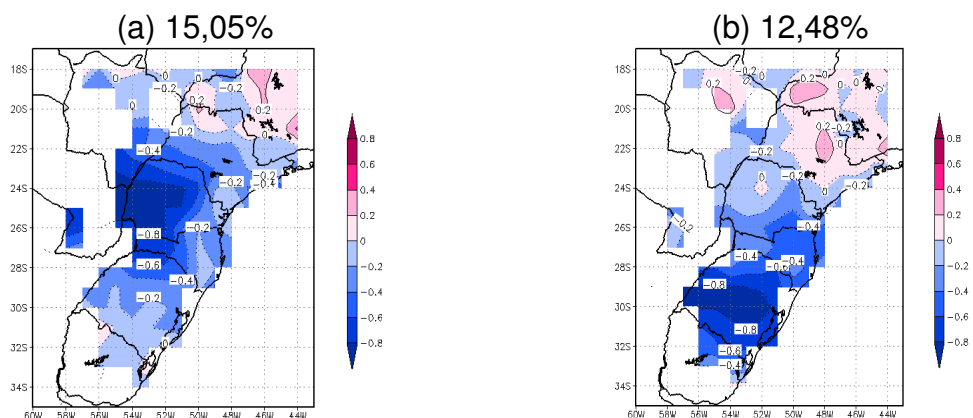


Figura 76 – Modos de variabilidade nos dados PREC_RE filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

A seguir serão apresentados os modos de variabilidade encontrados para as simulações do modelo RegCM3 para o clima futuro.

O primeiro modo de variabilidade interanual sem rotação apresentou valores negativos sobre toda a área de estudo, com sinal mais forte na região Sudeste (figura 77a). No segundo modo observaram-se valores negativos na região Sul e positivos na região Sudeste, onde a região com valores negativos é influenciada pelo fenômeno ENOS (figura 7 b). Este padrão também foi encontrado no segundo modo de variabilidade para os dados PREC_LA, porém menos intenso e com a área negativa restrita mais para o Sul do Brasil (figura 61b) e foi encontrado ainda nos dados PREC_RE, no primeiro modo de variabilidade (figura 69a). O modo de variabilidade interanual para o Outono foi encontrada no segundo modo sem rotação, que explica 18,63% a variância total.

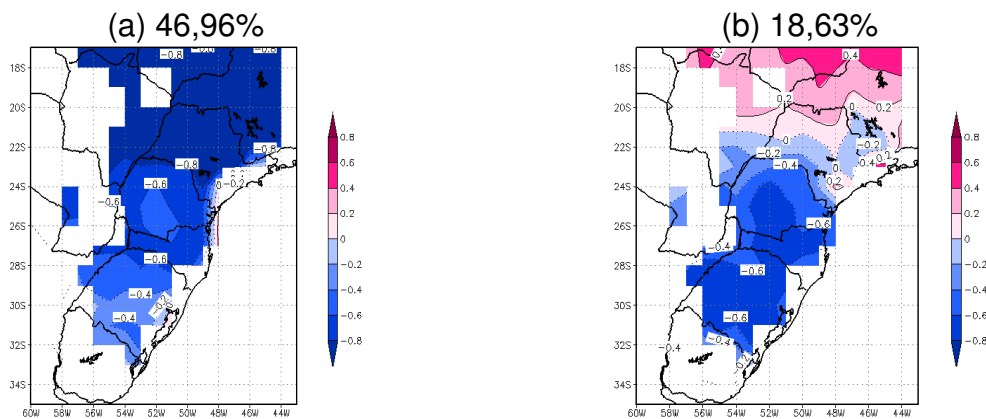


Figura 77 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

O primeiro modo com rotação (figura 78a) é semelhante ao primeiro modo sem rotação para o Outono, com valores negativos em toda a área do mapa com os valores mais intensos na região Sudeste. Já o segundo modo (figura 78b) possui valores negativos concentrados sobre o Paraná e Santa Catarina e representa o segundo modo de variabilidade com rotação, este modo é um pouco semelhante ao primeiro modo encontrado nos dados PREC_LA (figura 62a). E o quarto modo de

variabilidade (figura 78c) apresentou valores negativos sobre o Rio Grande do Sul, que parecem estar associados à área de maior impacto de fenômenos de escala interanual, como o ENOS. Então, o quarto modo de variabilidade com rotação para o Outono explica 6,05% da variância total.

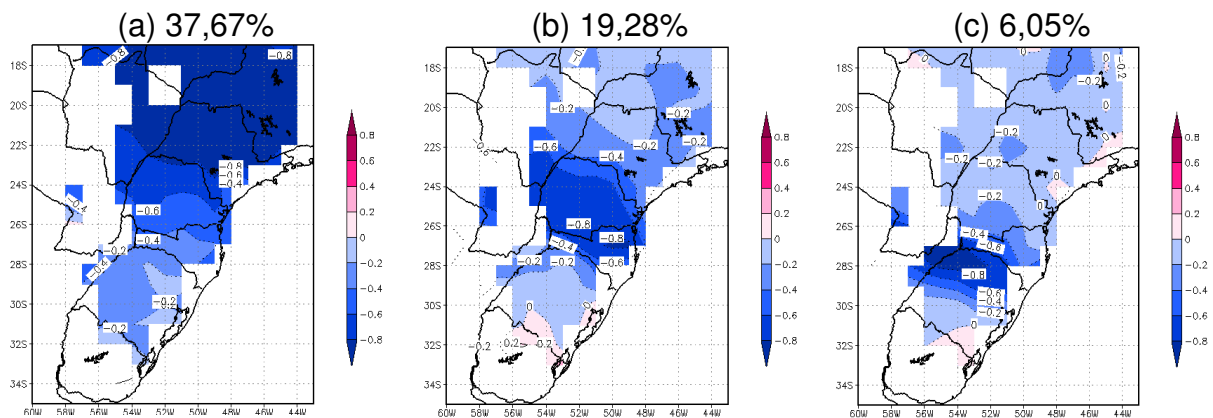


Figura 78 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Outono. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.

Para o inverno, o primeiro modo sem rotação apresentou valores negativos em toda a área do mapa (figura 79a), este modo é semelhante ao primeiro modo para os dados PREC_LA (figura 63a) e ao primeiro modo para os dados PREC_RE (figura 60 a). No segundo modo de variabilidade observou-se uma alternância de sinal sem nenhuma relação alguma com os fenômenos de escala interanual (figura 79b). E o quarto modo sem rotação (figura 79c) apresentou valores negativos sobre o norte do Rio grande do Sul e sobre Santa Catarina e pode relacionado com frentes estacionárias sobre a região durante o Inverno. Assim, o primeiro modo de variabilidade explica 53,03% da variância total.

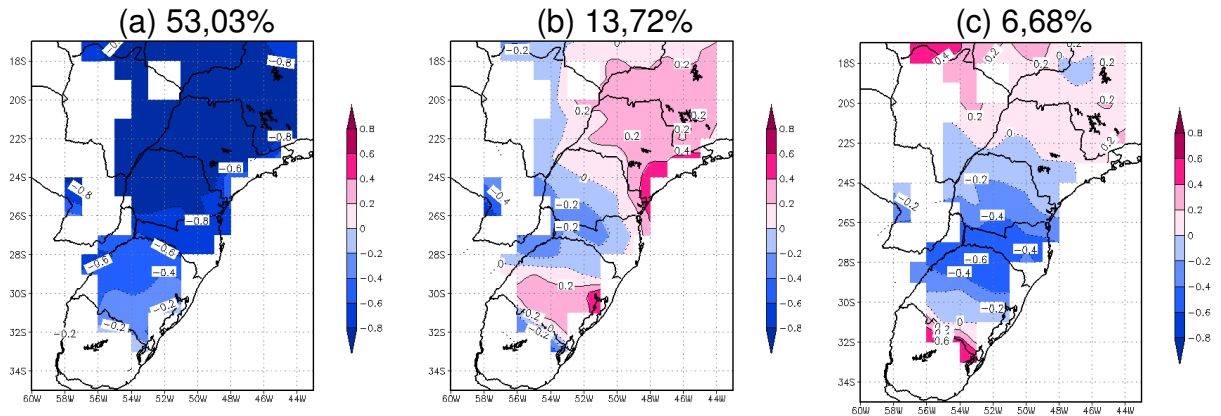


Figura 79 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.

Para o primeiro modo de variabilidade rotacionado observou-se o mesmo comportamento dos modos anteriores, com valores negativos nas regiões Sul e Sudeste, mas mais intenso na região Sudeste (figura 80a) e este modo é semelhante ao primeiro modo encontrado para os dados PREC_LA (figura 64a) e ao primeiro modo encontrado para os dados PREC_RE (figura 72a), porém são menos intensos. O segundo modo apresentou valores negativos mais intensos sobre Santa Catarina (figura 80b) e Paraná e este comportamento foram encontrados no segundo modo com rotação para os dados PREC_LA (figura 64b). E o quarto modo de variabilidade com rotação (figura 80c) apresentou valores negativos mais intensos nos Sul que no Sudeste, este modo é semelhante aos encontrados para os dados PREC_LA (figura 64c) e para os dados PREC_RE (figura 72b), que se parecem com o Modo Sul. Então, o primeiro modo de variabilidade com rotação para o Inverno explica 41,26% da variância total.

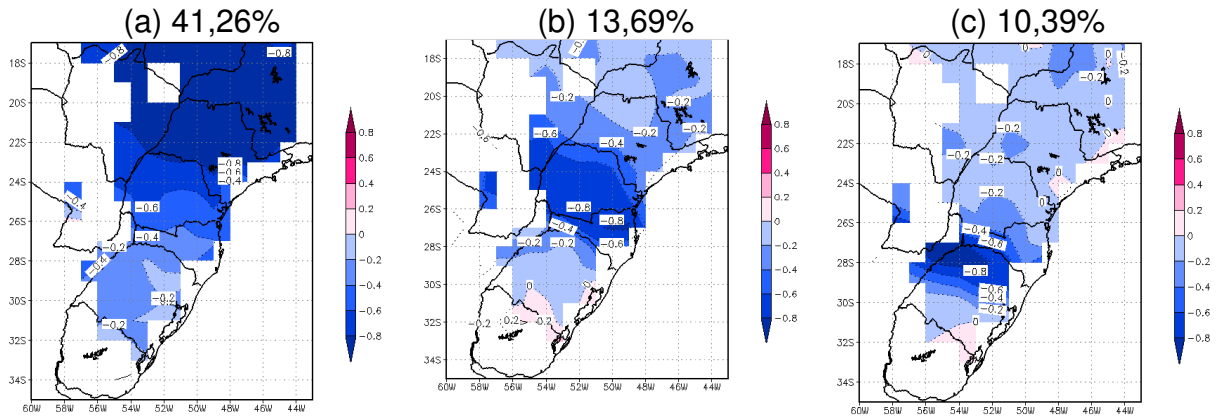


Figura 80 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Inverno. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Quarto Modo.

Na primavera, o primeiro modo de variabilidade sem rotação apresentou valores negativos mais intensos sobre o Paraná e região Sudeste do Brasil (figura 81a) e este comportamento é semelhante ao encontrado no primeiro modo para os dados PREC_RE, já para os dados PREC_LA a área que abrange os valores mais intensos é a mesma, mas possui valores com sinal oposto (figura 65a). O segundo modo (figura 81a) apresentou valores positivos principalmente sobre o Rio Grande do Sul e valores negativos na região Sudeste, este modo é semelhante ao segundo modo encontrado para os dados PREC_LA, mas com sinal contrário (figura 65b). Então, o primeiro modo de variabilidade sem rotação para a Primavera explica 58,24% da variância total.

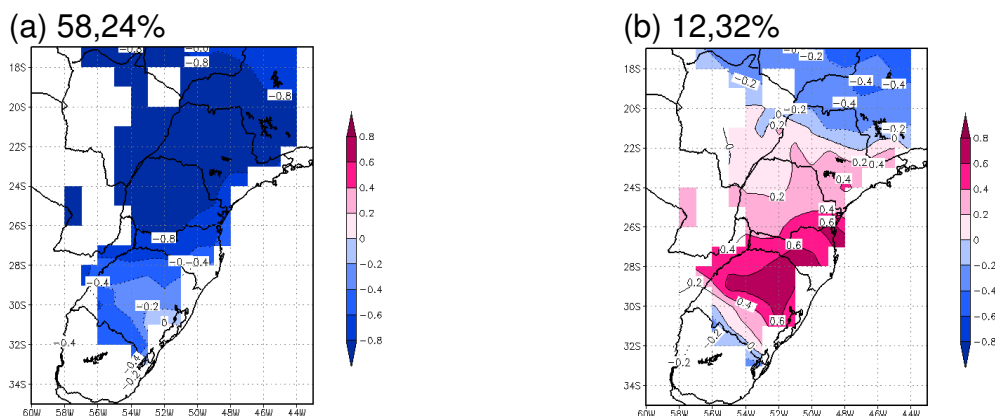


Figura 81 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Na análise com rotação, o primeiro modo apresentou valores negativos mais intensos na região Sudeste (figura 82a), semelhante aos modos anteriores, isto parece indicar que para o período futuro toda a região Sul e principalmente a região Sudeste serão afetados por um fenômeno de escala interanual durante o ano todo. O segundo modo com rotação (figura 82b) apresentou valores negativos mais intensos sobre o Paraná e São Paulo e é semelhante ao primeiro modo com rotação para os dados PREC_RE (figura 74a). O primeiro modo sem rotação (figura 81a) parece separar-se no primeiro e segundo modo com rotação para a primavera na banda interanual. E o terceiro modo de variabilidade com rotação (figura 82c) possui valores positivos concentrado sobre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, este modo é semelhante ao terceiro modo de variabilidade para os dados PREC_LA, mas com sinal contrário (figura 66c). Assim, o primeiro modo de variabilidade com rotação para a Primavera explica 25,64% da variância total.

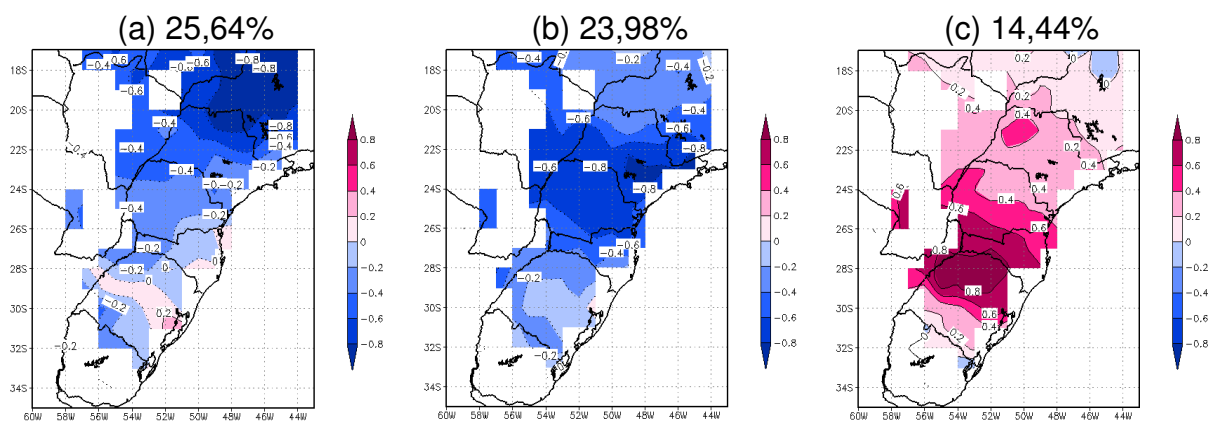


Figura 82 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo com rotação durante a Primavera. (a) Primeiro Modo, (b) Segundo Modo e (c) Terceiro Modo.

Para o verão, o primeiro modo se rotação (figura 83a) apresentou valores positivos somente no extremo sul do Rio Grande do Sul, este modo é semelhante aos modos encontrados anteriormente para o clima futuro nas outras estações do ano. E o segundo modo sem rotação apresentou valores negativos sobre a região Sul do Brasil e este modo é semelhante ao primeiro modo encontrado para os dados

PREC_LA e para os dados PREC_RE (figura 83b). O primeiro modo sem rotação para o Verão explica 39,92% da variância total.

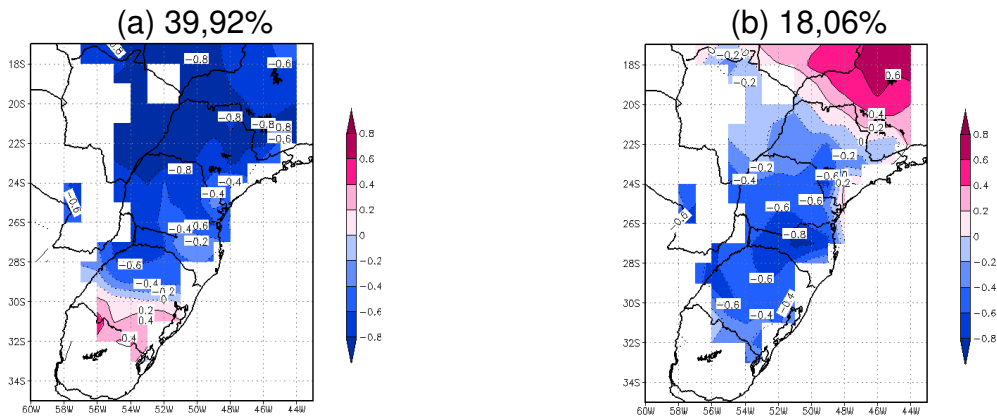


Figura 83 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo sem rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Para a análise com rotação observou-se que o primeiro modo de variabilidade apresentou valores negativos sobre a região Sul e parte da região Sudeste (figura 84a), este modo é semelhante ao primeiro modo encontrado para os dados PREC_RE (figura 76a). O segundo modo apresentou valores negativos na região Sul e valores positivos na região Sudeste (figura 84b), este modo é semelhante ao segundo modo encontrado para os dados PREC_LA (figura 68b). Então, o modo de variabilidade interanual é representado pelo primeiro modo sem rotação para o Verão, que explica 28,46% da variância total.

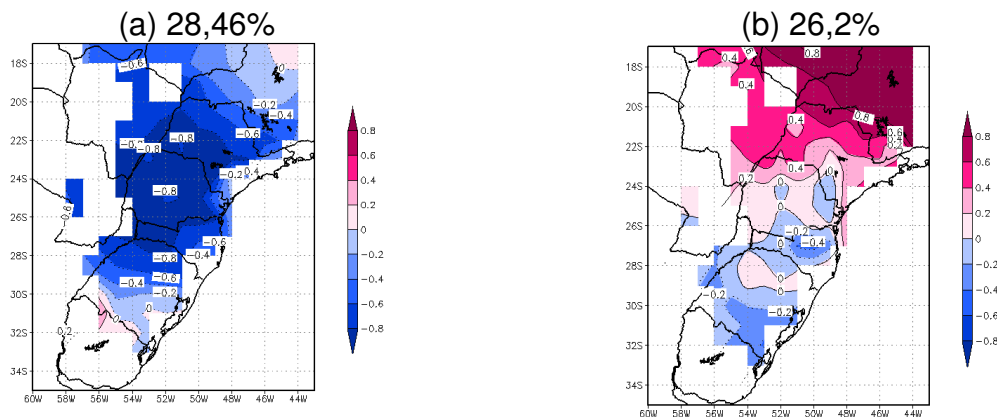


Figura 84 – Modos de variabilidade nos dados PREC_FU filtrados na banda interanual no modo com rotação durante o Verão. (a) Primeiro Modo e (b) Segundo Modo.

Cabe ressaltar que a variabilidade interanual é muito forte na Região Sul, como pode ser observado na intensidade dos modos, principalmente a pouca variação espacial e a altos valores de variância explicada pelos primeiros modos. Desta análise destacamos três padrões principais que atuam nestas bandas de frequência no Sul do Brasil. O Modo Niño, o Modo PR e o Modo Sul (que já foi definido em Pampuch (2010)), como podem ser vistos nos exemplos da figura 90.

O Modo Niño aparece apenas na banda Interanual; ele apresenta valores mais intensos concentrados no Rio Grande do Sul se estendendo sobre todo o Sul do Brasil e diminuindo de intensidade conforme atinge a região Sudeste. Este modo parece ser uma junção dos Modos PR e Sul quando a variabilidade Interanual está bem definida e estes dois não se caracterizam. O Modo PR apresenta os valores mais intensos concentrados sobre o Paraná. E o Modo Sul, já definido por Pampuch (2010), com o núcleo mais intenso no Rio Grande do Sul.

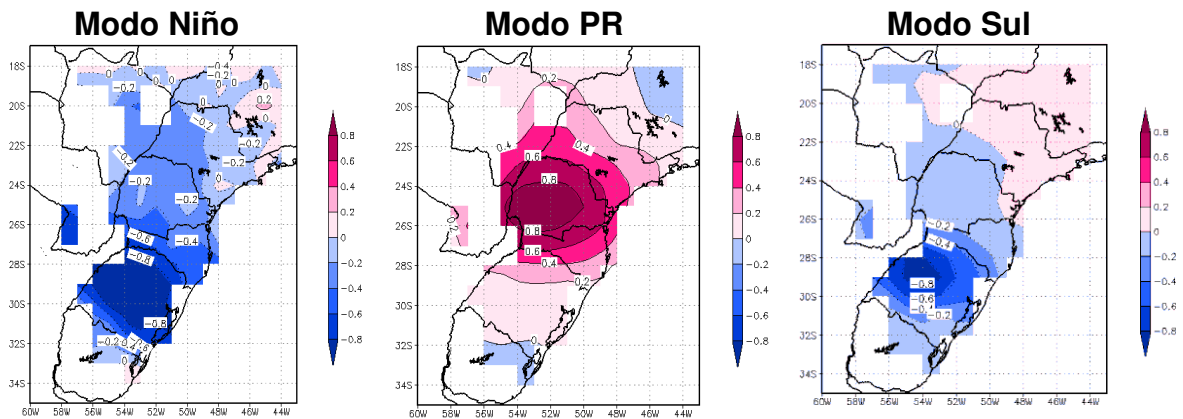


Figura 90 – Exemplo dos três modos encontrados nas bandas de frequência.

3.4 Comparação entre as Séries de Componentes Principais dos Três Padrões encontrados.

A seguir serão apresentadas as tabelas com os eventos encontrados em cada modo de variabilidade para as três bandas de frequência. Para determinar os eventos secos e chuvosos, utilizou-se a série temporal reconstruída dos modos rotacionados para as três bandas de frequência e para os três períodos analisados. Para a escala Sinótica e Intrasazonal foram considerados como eventos secos ou chuvosos aqueles que possuísem três ou mais dias consecutivos com desvio padrão maior ou igual a $+1,2$ ou desvio padrão menor ou igual a $-1,2$, respectivamente. E para a escala interanual foram considerados os anos com desvio padrão maior ou igual a $+1,2$ ou desvio padrão menor ou igual a $-1,2$. Cabe ressaltar que os dados de clima futuro foram analisados para um período menor de anos, dezessete anos contra vinte e cinco dos dois outros conjuntos.

A tabela 1 mostra a comparação para os dados PREC_LA, PREC_RE e PREC_FU para a banda de frequência Sinótica:

Tabela 1 - Análise das séries temporais na banda sinótica, com a contagem do número de eventos secos e chuvosos para os três conjuntos de dados.

<i>Período</i>	<i>Estação</i>	MODO SUL <i>Número de Eventos</i>	MODO PR <i>Número de Eventos</i>
P R E C L A	Outono	Secos: 12 Chuvosos: 9	Secos: 2 Chuvosos: 11
	Inverno	Secos: 5 Chuvosos: 7	Secos: 9 Chuvosos: 16
	Primavera	Secos: 7 Chuvosos: 8	–
	Verão	Secos: 6 Chuvosos: 10	Secos: 5 Chuvosos: 8
TOTAL ANUAL		Secos: 30 Chuvosos: 34	Secos: 16 Chuvosos: 35
P R E C R E	Outono	Secos: 5 Chuvosos: 10	Secos: 4 Chuvosos: 7
	Inverno	Secos: 2 Chuvosos: 4	–
	Primavera	Secos: 7 Chuvosos: 7	Secos: 2 Chuvosos: 7
	Verão	–	–
TOTAL ANUAL		Secos: 14 Chuvosos: 31	Secos: 6 Chuvosos: 14
P R E C F U	Outono	Secos: 5 Chuvosos: 7	Secos: 2 Chuvosos: 5
	Inverno	Secos: 2 Chuvosos: 5	–
	Primavera	Secos: 2 Chuvosos: 5	–
	Verão	Secos: 5 Chuvosos: 6	–
TOTAL ANUAL		Secos: 14 Chuvosos: 23	Secos: 2 Chuvosos: 5

Como era de se esperar o Modo Niño não aparece na Sinótica nem na escala Intr sazonal.

Analisando-se os resultados da tabela 1 observa-se que os dados PREC_LA tiveram uma quantidade maior de eventos, tanto secos quanto chuvosos, que nos dados PREC_RE, para o Modo Sul e para o Modo PR. E o maior número de eventos chuvosos ocorre durante o verão para os dados PREC_LA no Modo Sul e PR. E no Modo PR há uma maior frequência de eventos chuvosos comparados com os secos.

Para o clima futuro PREC_FU observa-se uma grande diminuição dos eventos nos dois modos, principalmente no modo PR que se caracterizou apenas no outono.

Observou-se que na escala Sinótica ocorrem muitos eventos curtos, principalmente de dois dias (mas, aqui consideramos apenas eventos com mais de três dias) e analisando o desvio padrão, juntamente com os dados de precipitação, notou-se que os desvios muito altos estavam relacionados a eventos “extremos” de chuva, com valores muito altos em apenas um dia. O que pode sugerir a diminuição dos eventos de chuva, mas não a intensidade dos mesmos. Fazendo uma análise percentual dos eventos, por ano, observou-se que os dados PREC_RE foram o que apresentaram menos eventos por ano no Modo Sul e no Modo PR foram os dados PREC_FU que apresentaram menor quantidade.

Na escala Intrasazonal os eventos são mais longos e acontecem em maior número durante o ano (tabela 2). Para o Modo Sul nos dados PREC_LA foram encontrados 126 eventos secos, sendo que a maioria ocorre durante a primavera, e 112 eventos chuvosos, em que a maior parte ocorre durante o inverno. Neste mesmo conjunto de dados o Modo PR foi encontrado somente para o outono e primavera. Para os dados PREC_RE observou-se uma diminuição para os eventos do Modo Sul (102 secos e 98 chuvosos) e para os dados PREC_FU também se observou esta diminuição (71 secos e 71 chuvosos). No entanto analisando percentualmente, os dados PREC_FU apresentaram uma quantidade um pouco maior de eventos neste modo comparado com o PREC_RE.

Para o Modo PR o padrão dos dados PREC_RE foi contrário, este apresentou mais eventos tanto secos (88) quanto chuvosos (82) quando comparado com os dados PREC_LA e PREC_FU. Neste Modo, os dados PREC_LA foram os que apresentaram menor quantidade de dados, analisando percentualmente em relação ao número de anos.

Tabela 2 - Análise das séries temporais na banda intrasazonal, com a contagem do número de eventos secos e chuvosos para os três conjuntos de dados.

		MODO SUL	MODO PR
<i>Período</i>	<i>Estação</i>	<i>Número de Eventos</i>	<i>Número de Eventos</i>
P R E C L A	Outono	Secos: 29 Chuvosos: 29	Secos: 26 Chuvosos: 17
	Inverno	Secos: 32 Chuvosos: 30	-
	Primavera	Secos: 37 Chuvosos: 29	Secos: 33 Chuvosos: 28
	Verão	Secos: 28 Chuvosos: 24	-
TOTAL ANUAL		Secos: 126 Chuvosos: 112	Secos: 59 Chuvosos: 45
P R E C R E	Outono	Secos: 27 Chuvosos: 28	Secos: 19 Chuvosos: 19
	Inverno	Secos: 23 Chuvosos: 30	Secos: 19 Chuvosos: 20
	Primavera	Secos: 30 Chuvosos: 25	Secos: 28 Chuvosos: 22
	Verão	Secos: 22 Chuvosos: 15	Secos: 22 Chuvosos: 21
TOTAL ANUAL		Secos: 102 Chuvosos: 98	Secos: 88 Chuvosos: 82
P R E C F U	Outono	Secos: 18 Chuvosos: 14	Secos: 24 Chuvosos: 18
	Inverno	Secos: 14 Chuvosos: 16	-
	Primavera	Secos: 19 Chuvosos: 18	-
	Verão	Secos: 20 Chuvosos: 23	Secos: 21 Chuvosos: 21
TOTAL ANUAL		Secos: 71 Chuvosos: 71	Secos: 45 Chuvosos: 39

Tabela 3 - Análise das séries temporais na banda interanual, com a contagem do número de eventos secos e chuvosos para os três conjuntos de dados.

		MODO NIÑO	MODO PR
<i>Período</i>	<i>Estação</i>	<i>Número de Eventos</i>	<i>Número de Eventos</i>
P R E C L A	Outono	Secos: 4 Chuvosos: 3	Secos: 17 Chuvosos: 5
	Inverno	Secos: 3 Chuvosos: 5	-
	Primavera	Secos: 3 Chuvosos: 10	Secos: 5 Chuvosos: 5
	Verão	Secos: 4 Chuvosos: 2	-
TOTAL ANUAL		Secos: 14 Chuvosos: 20	Secos: 22 Chuvosos: 10
P R E C R E	Outono	Secos: 6 Chuvosos: 4	Secos: 3 Chuvosos: 0
	Inverno	Secos: 1 Chuvosos: 3	-
	Primavera	-	Secos: 4 Chuvosos: 2
	Verão	Secos: 2 Chuvosos: 1	Secos: 3 Chuvosos: 3
TOTAL ANUAL		Secos: 9 Chuvosos: 8	Secos: 13 Chuvosos: 5
P R E C F U	Outono	Secos: 6 Chuvosos: 4	-
	Inverno	Secos: 6 Chuvosos: 0	-
	Primavera	Secos: 4 Chuvosos: 2	Secos: 4 Chuvosos: 2
	Verão	Secos: 5 Chuvosos: 4	-
TOTAL ANUAL		Secos: 21 Chuvosos: 10	Secos: 4 Chuvosos: 2

Na banda Interanual (tabela 3) analisou-se os anos em que continham desvio padrão maior ou menor que $\pm 1,2$, e fez-se uma contagem desses anos. Assim, para os dados PRE_LA (período de 1981 a 2007) ocorreram 14 anos secos e 20 anos chuvosos, e a primavera é a estação mais chuvosa para este modo. O Modo PR apresentou 17 anos e o outono foi o que apresentou mais eventos secos. Os dados PREC_RE foram os que apresentaram menos eventos, tanto seco quanto chuvosos.

Analisando percentualmente os dados PREC_FU foram os que apresentaram mais eventos no Modo Niño, sugerindo um aumento de eventos nesta escala de variabilidade com mais eventos secos. No Modo PR houve um aumento em relação ao PREC_RE, mas uma diminuição em relação ao PREC_LA.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos objetivos do trabalho foi determinar as tendências para os índices de extremos climáticos da variável precipitação, para três conjuntos de dados diferentes:

PREC_LA → que são dados observados compilados em uma grade $1^\circ \times 1^\circ$, num período de 25 anos;

PREC_RE → que são resultados do modelo RegCM3 utilizando como condição de contorno a Reanálise do NCEP, num período de 25 anos;

PREC_FU → que são resultados do modelo RegCM3 utilizando como condição de contorno as rodadas do Hadcm3, num período de 17 anos.

As tendências para os dados do modelo RegCM3 tiveram boa concordância com os dados PREC_LA (somente para os índices do número de Dias Consecutivos Secos e Úmidos que observou-se diferenças nas tendências dos dois conjuntos de dados). Mas, de forma geral, os dados PREC_LA e PREC_RE tiveram tendência de aumento na maior parte dos índices. Para os dados PREC_FU o único índice com tendência negativa foi o CWD (número de Dias Consecutivos Úmidos).

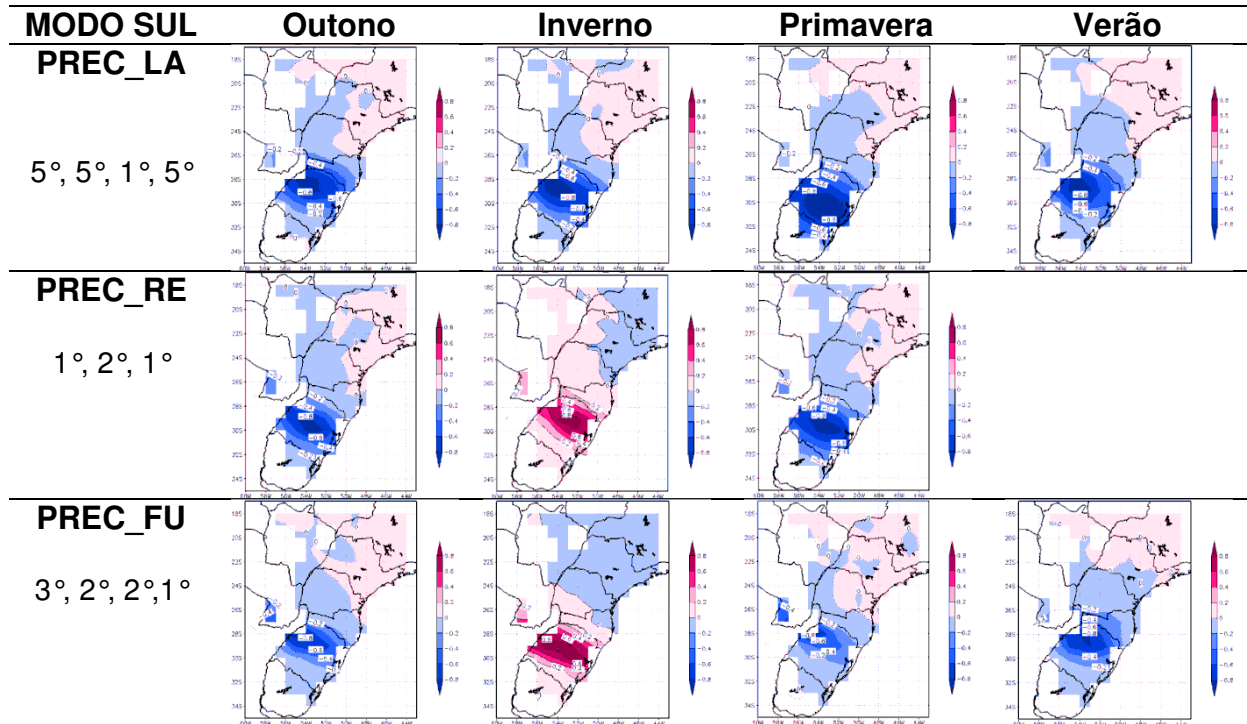
Outro objetivo do trabalho foi encontrar os modos de variabilidade que atuam na região Sul do Brasil. Inicialmente, foram calculados os modos para os dados PREC_LA (no período de 1981 a 2007), para as quatro estações do ano, nas escalas Sinótica, Intrasazonal e Interanual, e posteriormente para os dados PREC_RE (no período 1982 a 2006), a fim de averiguar se os modos encontrados para os dados de precipitação foram coerentes com os modos encontrados a partir dos dados simulados pelo modelo RegCM3 para o mesmo período de dados. E, por fim, foram calculados os modos para os dados PREC_FU (2070 a 2086), para analisar se os mesmos modos que acontecem no presente são previstos para o futuro.

Para determinar os eventos secos e chuvosos relacionados a cada modo encontrado, foi utilizada a série temporal de cada modo. Foram considerados eventos secos e chuvosos, aqueles que continham três dias consecutivos ou mais com desvio padrão maior (menor) que $\pm 1,2$.

No Modo Sul para a escala Sinótica observou-se um maior número de eventos secos e chuvosos durante o ano para os dados PREC_LA que em relação aos dados PREC_RE. Para o clima futuro esses eventos tendem a diminuir nas duas escalas. Para o Modo PR na escala Sinótica observou-se que os eventos também tendem a diminuir para os dados PREC_RE e para os PREC_FU. Fazendo uma análise percentual dos eventos, por ano na escala sinótica, observou-se que os dados PREC_RE foram o que apresentaram menos eventos por ano no Modo Sul e no Modo PR foram os dados PREC_FU que apresentaram menor quantidade.

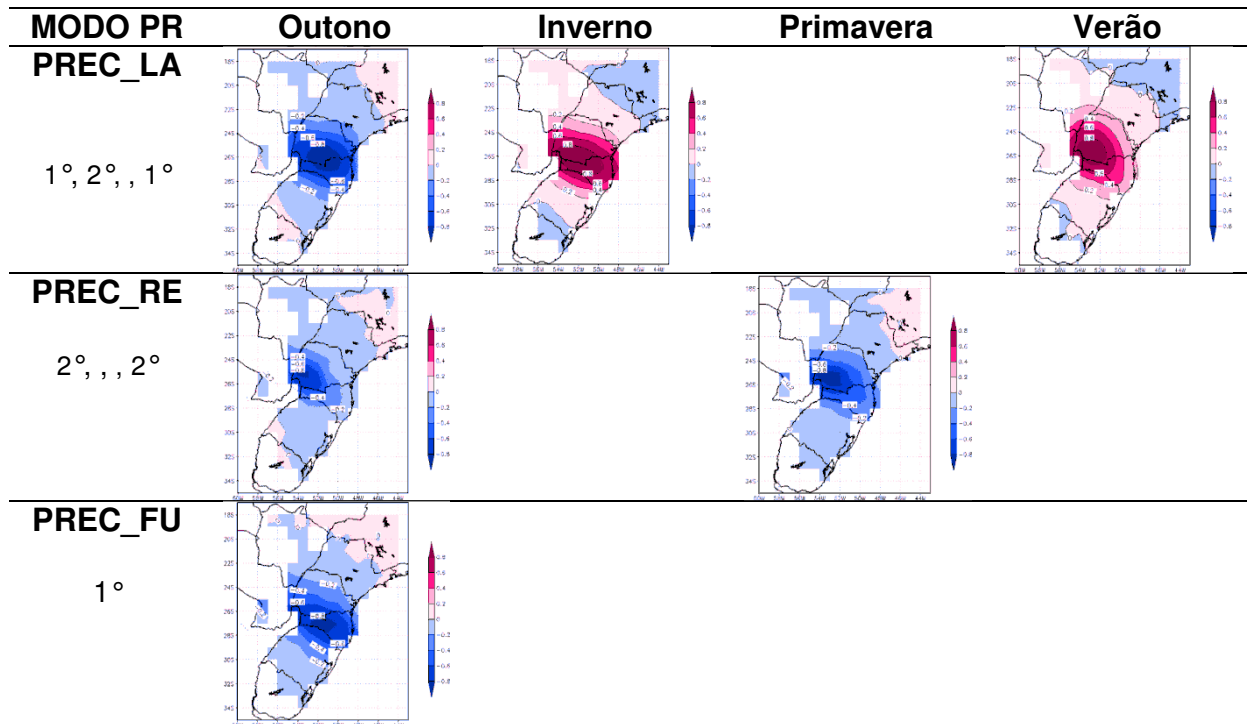
Na tabela 4 os modos expostos anteriormente foram distribuídos de forma que se pode visualizar com melhor destreza a atuação do Modo Sul durante as quatro estações do ano para os conjuntos de dados: PREC_LA, PREC_RE e PREC_FU. Nota-se que, para os dados PREC_LA o Modo Sul ficou bem caracterizado, com a área negativa concentrada sobre a região Noroeste do Rio Grande do Sul. Já para os dados PREC_RE e PREC_FU, a distribuição das áreas com valores mais intensos tem uma configuração um pouco mais alongada em direção a região Sudeste do estado, mas de forma geral este modo (Modo Sul) ficou bem caracterizado para os três períodos.

Tabela 4 - Comparativo entre os três conjuntos de dados para o Modo Sul na Escala Sinótica, com os respectivos modos de variabilidade encontrados para as quatro estações do ano.



A tabela 5 apresenta o Modo PR para a Escala Sinótica, que também apresentou grande semelhança entre os três conjuntos de dados em que as variações ficaram por conta da influencia de cada estação do ano neste modo de variabilidade Sinótica.

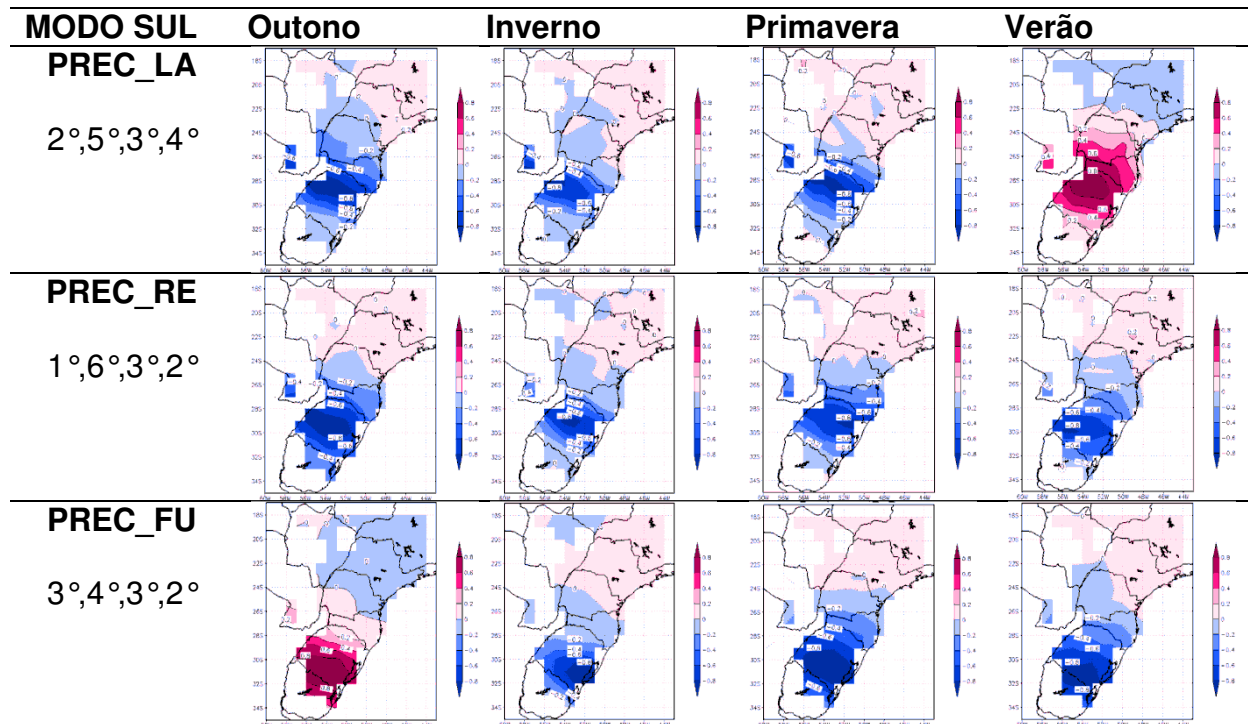
Tabela 5 - Comparativo entre os três conjuntos de dados para o Modo PR na Escala Sinótica, com os respectivos modos de variabilidade encontrados para as quatro estações do ano.



Na escala intrasazonal, o maior número de eventos secos foi encontrado durante a primavera e o maior número de eventos chuvosos, durante o inverno para o Modo Sul nos dados PREC_LA. Para os dados PREC_RE e PREC_FU observou-se uma diminuição no número total de eventos. Analisando percentualmente, os dados PREC_FU apresentaram uma quantidade um pouco maior de eventos no Modo Sul comparado com o PREC_RE. Para o Modo PR os dados PREC_LA foram os que apresentaram menor quantidade de dados, analisando percentualmente em relação ao número de anos.

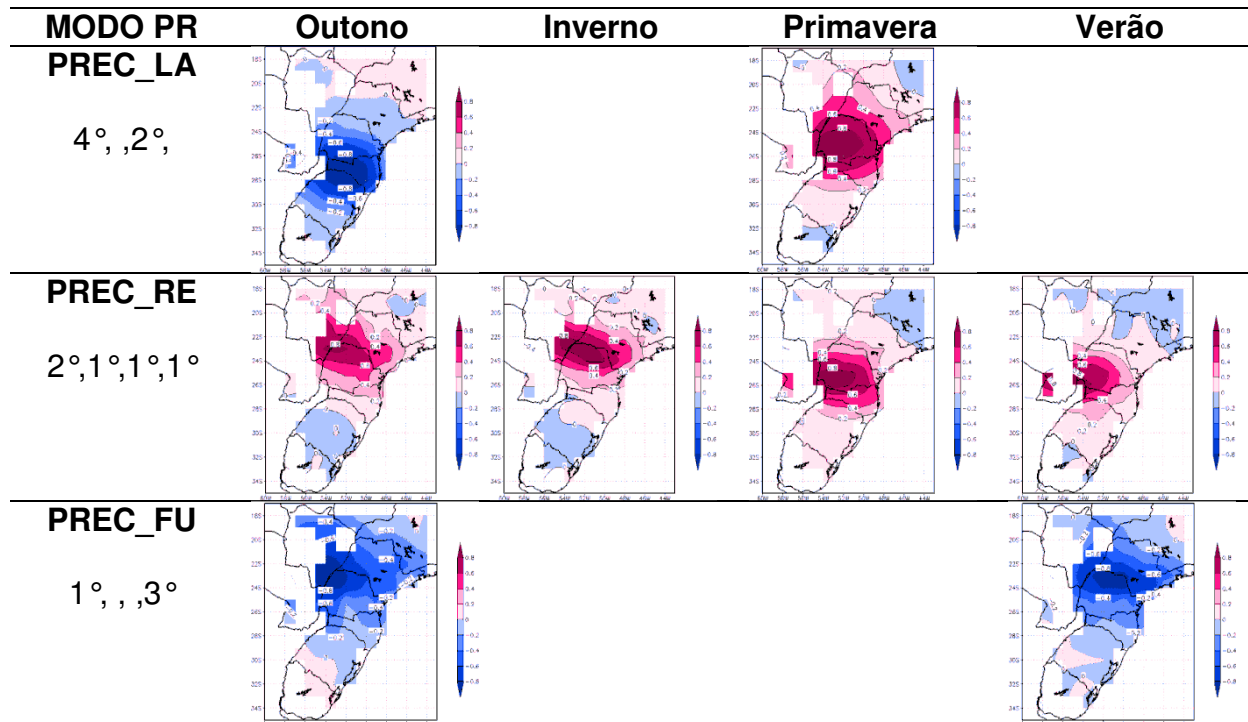
O Modo Sul também se caracterizou na Escala Intrasazonal, como pode-se observar na tabela 6. Para os dados PREC_LA o Modo Sul na Escala Intrasazonal é semelhante ao mesmo modo encontrado na Escala Sinótica, da mesma forma que para os dados PREC_RE. Nos dados PREC_FU as áreas mais intensas ficaram concentradas mais ao Sul do estado.

Tabela 6 - Comparativo entre os três conjuntos de dados para o Modo Sul na Escala Intrasazonal, com os respectivos modos de variabilidade encontrados para as quatro estações do ano.



O Modo PR na Escala Intrasazonal ficou bem caracterizado para os dados PREC_RE, onde a área com valores mais intensos ficou sobre o estado do Paraná. Nos dados PREC_LA o modo ficou a Sul da sua posição e para os dados PREC_FU o Modo PR se configurou mais ao Norte do estado, como mostra a tabela 7.

Tabela 7 - Comparativo entre os três conjuntos de dados para o Modo PR na Escala Intrazonal, com os respectivos modos de variabilidade encontrados para as quatro estações do ano.



Para a escala Interanual observou-se que os eventos para os dados PREC_LA foram encontrados em maior quantidade que nos dados PREC_RE. Para o clima futuro o Modo Niño mostrou um aumento para os anos com eventos secos e diminuição para os anos com eventos chuvosos, comparando-se com o clima atual.

Através da tabela 8 abaixo, observou-se uma grande variação na área de atuação do Modo Niño nos três conjuntos de dados na Escala Interanual. Para os dados PREC_LA as áreas mais intensas ficaram concentradas na região Sudeste do país, já para os dados PREC_RE a área de maior atuação ficou mais restrita ao Rio Grande do Sul, assim como, nos dados PREC_FU.

Já o Modo PR na Escala Interanual foi encontrado apenas para os dados PREC_LA e PREC_RE e notou-se que estes dois conjuntos de dados apresentaram grande semelhança entre si, em que as regiões com valores mais intensos ficaram sobre o oeste da região Sul do Brasil (tabela 9).

Tabela 8 - Comparativo entre os três conjuntos de dados para o Modo Niño na Escala Interanual, com os respectivos modos de variabilidade encontrados para as quatro estações do ano.

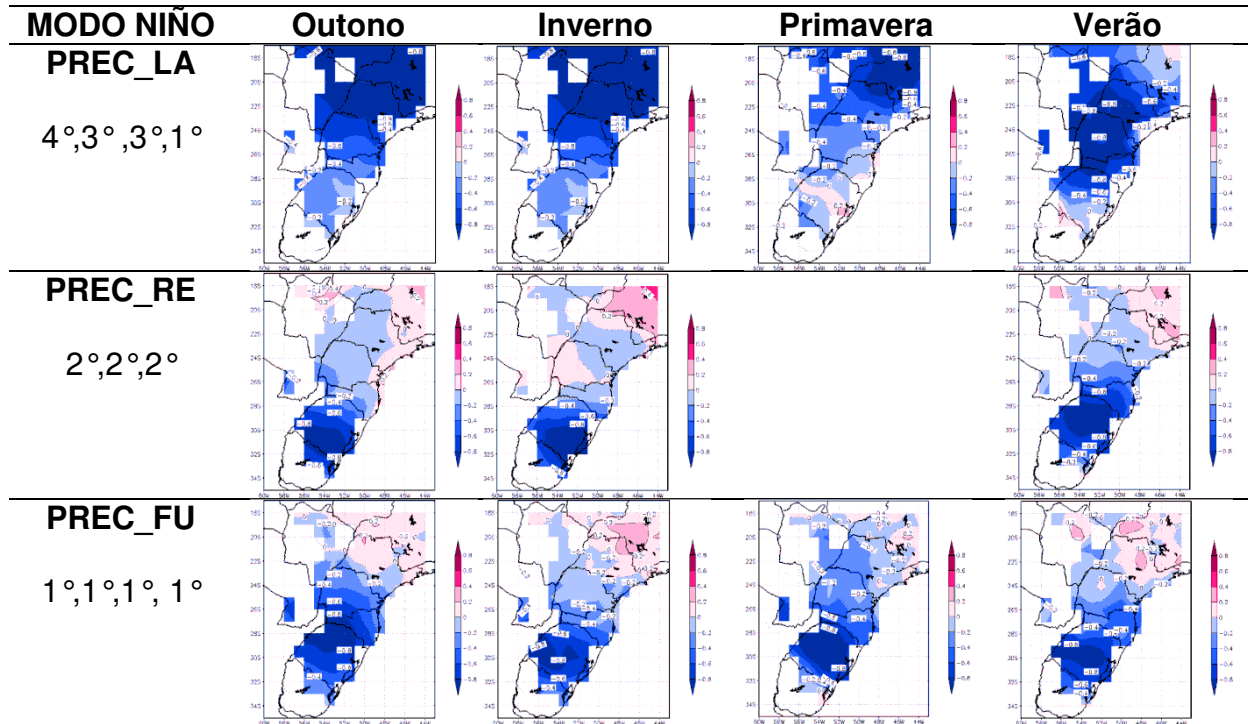
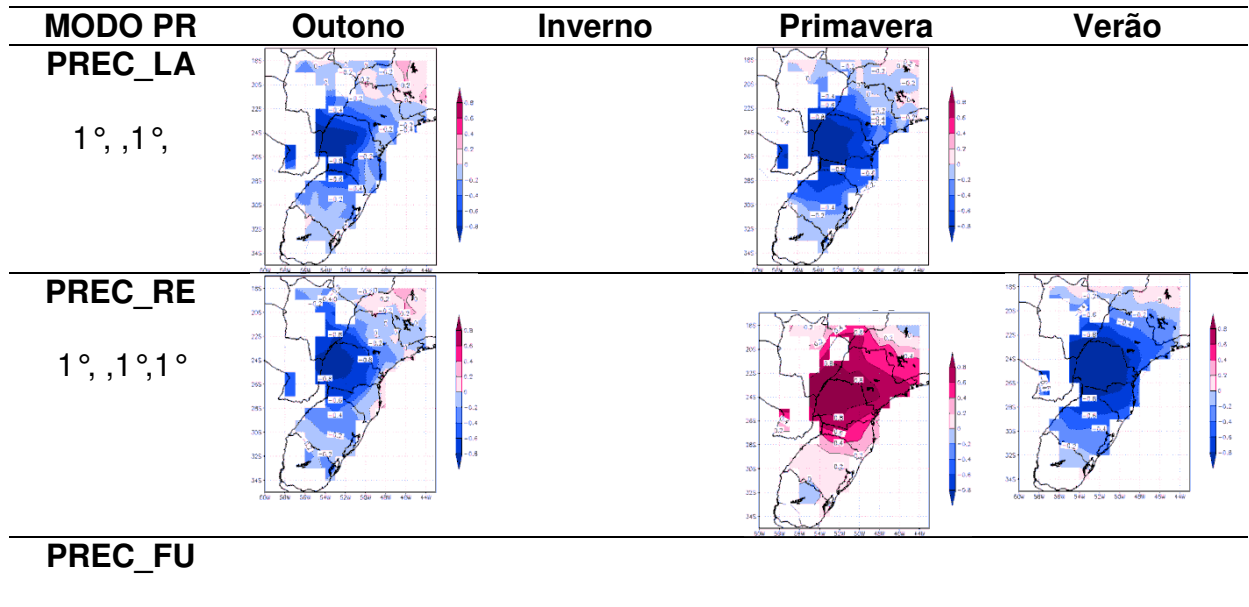


Tabela 9 - Comparativo entre os três conjuntos de dados para o Modo PR na Escala Sinótica, com os respectivos modos de variabilidade encontrados para as quatro estações do ano.



Fazendo uma análise geral dos modos de variabilidade que atuam no Sul do Brasil em todas as estações do ano, nas três bandas de frequência analisadas concluímos que o Modo Sul e o Modo PR são bem atuantes na região e que podem atuar ao mesmo tempo, afetando regiões diferentes da Região Sul. No entanto quando se considera apenas a variabilidade interanual o Modo Sul deixa de existir isoladamente e se espalha por toda a região Sul configurando o Modo Niño. Neste caso, quando isto ocorre o Modo Niño e o Modo PR podem ocorrer com mesmo sinal (reforçando o sinal na região de impacto) ou com sinal contrário, apresentando mais chuva (ou secas) em algumas regiões em relação a outras.

5 PERSPECTIVAS

Os modos, principalmente os da banda Sinótica e Intrasazonal, tiveram bons resultados com relação aos eventos em que ocorreram. Com isso, uma análise a ser feita futuramente é investigar quais campos atmosféricos também influenciam nestas precipitações, juntamente com os modos de variabilidade.

Outra análise interessante é utilizar um conjunto de dados maior para os dados PREC_FU, que neste trabalho foi de apenas 17 anos de dados.

E, ainda, se fosse possível, aumentar a quantidade de dados PREC_LA para investigar o sinal da banda Interdecadal (no caso, Oscilação Decadal do Pacífico – ODP) nos modos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANABOR, V. **Sistemas Convectivos de Mesoescala no Sul da América do Sul: propagação em série contra o escoamento em Baixos Níveis**. 2008. Tese (Doutorado em Física) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

ANDRADE, K. M.; CAVALCANTI, I. F. A. **Climatologia dos Sistemas Frontais e padrões de comportamento para o verão na América do Sul**. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza – CE, 2004.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. ENSO-Related Rainfall Anomalies in South America and Associated Circulation Features during Warm and Cold Pacific Decadal Oscillation Regimes. **International Journal of Climatology**, v.25, p. 2017-2030, 2005.

ANTHES, R. A. A Cumulus Parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. **Monthly Weather Review.**, 105, 270-286, 1977.

ANTICO, P. L. Relationships between autumn precipitation anomalies in southeastern South America and El Niño event classification. **International Journal of Climatology**. p. 719-729, 2009.

BETTS, A. K.; MILLER, M. J. A new convective adjustment scheme, Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and Artic air-mass data sets. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc.**, 112, 693-263, 2008.

CALBETE, N., et. al. Interação entre o Jato em Baixos Níveis e os Complexos Convectivos de Mesoescala sobre a região do Conesul. **In: IX Congresso Latino-americano e Ibérico de Meteorologia, VIII Congresso Argentino de Meteorologia**, 2002, Argentina. Anais IX Congresso Latino-americano e Ibérico de Meteorologia, VIII Congresso Argentino de Meteorologia, 2002.

CASARIN, D. P.; KOUSKY, V. E. Anomalias de Precipitação no Sul do Brasil e Variações na Circulação Atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.1, p. 83-90, 1986.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. **Climatology of South American cold fronts**. In : VII International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Wellington, New Zealand, 2003.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes Frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A., et. al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos, p. 135-147, 2009.

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T. Caracterização da Precipitação no Estado do Rio Grande do Sul. In: **Anais do II Encontro Sul Brasileiro de Meteorologia**, Florianópolis – SC, 2007.

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T.; BENDER, F. D. Influência da Oscilação Decadal do Pacífico e as Mudanças no Regime de Chuva do Rio Grande do Sul. **Revista Ciência e Natura Especial**, Santa Maria-RS. v. 1, 6ª Ed., pg. 317-320, 2009.

DE SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Modulation of the Intraseasonal rainfall over Tropical Brazil by the Madden-Julian Oscillation. **International Journal of Climatology**. p. 1759-1776, 2006.

DIAZ, A. F.; STUDZINSKI, C. D.; MECHOSO, C. R. Relationships between Precipitation Anomalies in Uruguay and Southern Brazil and Sea Surface Temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. **Journal of Climate**, v. 11, n. 2, p. 251-271, 1998.

DICKINSON, R. E.; YANG, Z. L.; ROBOCK, A.; VINNIKOV, K. Y. A. Validation of the Snow Submodel of the Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme with Russian Snow Cover and Meteorological Observational Data. **American Meteorological Society**, v.10, p. 353-373, 1997.

DUCHON, C. E. Lanczos filtering in one and two dimensions. **Journal of Applied Meteorology**, v.18, p.1016-1022, 1979.

ELGUINDI, N. et al. RegCM Version 3.0 User's Guide. Trieste: PWCG Abdus Salan ICTP, p.48, 2004.

EMANUEL, K. A. A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. **Journal of the Atmospheric Science**, 48, 2313–2329, 1991.

FERRAZ, S. E. T. **Oscilações Intrasazonais no Sul e Sudeste do Brasil durante o Verão**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FERRAZ, S. E. T. **Variabilidade Intrasazonal no Brasil e Sul da América do Sul. São Paulo, 2004**. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

FERREIRA, N. J; RAMÍREZ, M. V.; GAN, M. A. Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A., et. al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos, p. 43-60, 2009.

FRITSCH, J.M.; CHAPPELL, C. F. Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. Part I: Convective parameterization. **Journal of the Atmospheric Science**, 37, 1722-1733, 1980.

GAN, M. A.; RAO, V. B. The influence of the Andes Cordillera on transient disturbances. **Monthly Weather Review**, v. 122, p. 1141-1157, 1994.

GIORGI, F.; MARINUCCI, M. R.; BATES, G. T. Development of a second-generation Regional Climate Model, RegCM2. Part I: Boundary-layer and radiative transfer processes. **Monthly Weather Review**. 121, 2749-2813, 1993a.

GIORGI, F.; MARINUCCI, M. R.; BATES, G. T. Development of a second-generation Regional Climate Model, RegCM2. Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. **Monthly Weather Review**. 121, 2814-2832, 1993b.

GRELL, G. A., Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. **Monthly Weather Review**, 121, 764-787, 1993.

GRIMM, A. M. Clima da Região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A., et. al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos, p. 259-275, 2009.

GRIMM, A. M. et al. Anomalias de Precipitação no Sul do Brasil em Eventos La Niña. In: **IX Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Anais do IX CBMET, v. 2, p. 1113-1117, 1996.

GRIMM, A. M. The El Niño on the Summer Monsoon in Brazil: regional Processes versus Remote Influences. **American Meteorological Society**. p. 263-280, 2003.

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. **American Meteorological Society**. p. 35-58, 2000.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña Events. **Journal of Climate**, v.11, p. 2863-2880, 1998.

GUERRA, V. S.; FERRAZ, S. E. T. Um estudo da sensibilidade dos esquemas convectivos do modelo regional RegCM3 para a precipitação de inverno no Rio Grande do Sul. In: Anais do Meeting of the Americas (AGU 2010), Foz do Iguassu-Paraná, 2010.

HARE, S. R.; MANTUA, N. J.; FRANCIS, R. C. Inverse Production Regimes: Alaska and West Coast pacific salmon. **School of Fisheries**, v. 24, p. 6-14, 1999.

HARMAN, H. H. Modern Factor Analysis. **The University of Chicago Pres**, Chicago, IL, 1976.

HAYLOCK, M. R. et al. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960-2000 and Links with Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, v. 19, p. 1490-1512, 2006.

HOPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**. v. 115, p. 1606-1626, 1987.

HOSTSLAG, A. A. M.; de Bruijn E. I. F.; PAN, L. H. A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting, **Monthly Weather Review**., 118, p.1561-1575, 1990.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Relations of South American Summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. **International Journal of Climatology**. p. 351-540, 2007.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Variabilidade Decenal a Multidecenal. In: CAVALCANTI, I. F. A. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos, p. 373-383, 2009.

KAYANO, OLIVEIRA, ANDREOLI. Interannual relations between south American rainfall and tropical sea surface temperature anomalies before and after 1976. **International Journal of Climatology**. 2009, v.29, 1439-1448.

KIEHL, J.T et al. Description of the NCAR Community Climate Model, CCM3. NCAR Tech. Note, **Cent. For Atmos. Res.**, Boulder, Colo, 1996.

LIEBMANN, B.; ALLURED, D. Daily Precipitation Grids for South America. **Bulletin of the American Meteorological**, 2005.

LORENZ, E. N. Empirical Orthogonal Functions and Statistical Weather Prediction, Sci. Rp 1. Statistical Forecasting Project, **Department of Meteorology**, MIT (NTIS AD 110268), 49p, 1956.

LOVELAND, T. R. et al. Development of a global land cover characteristics database and IGBP Discover from 1-km AVHRR Data. **International Journal of Remote Sensing**, v.21, p. 1303-1330, 2000.

MADDOX, R. A. Mesoscale Convective Complexes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.61, p. 1374-1387, 1980.

MANTUA, N. J., et al. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. **Bulletin of the American Meteorological Society**. P. 1069-1079, 1997.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade. Ministério do Meio Ambiente. Brasília-DF, 2006.

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas: Detecção e Cenários Futuros para o Brasil até o Final do Século XXI. In: CAVALCANTI, I. F. A., et. al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos, p. 407-424, 2009.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; SOARES, W. R. Jato de Baixos Níveis ao longo dos Andes. In: CAVALCANTI, I. F. A., et. al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos, p. 169-180, 2009.

MONTECINOS, A.; DÍAZ, A.; ACEITUNO, P. Seasonal Diagnostic and Predictability of Rainfall in Subtropical South America Based on Tropical Pacific SST. **Journal of Climate**. p. 746-758, 2000.

MULLAIK, S. A. The Foundations of Factor Analysis, **McGraw Hill**, New York, 1972.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

PAEGLE, J. N.; BYERLE, L. A; MO, K. C. Intraseasonal Modulation of South American Summer Precipitation. **Monthly Weather Review**, v. 128, p. 837-850, 2000.

PAEGLE, J. N.; MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Monthly Weather Review**, v. 125, p. 279-291, 1997.

PAL, J.S., E.E. SMALL, E. A. ELTHAIR. Simulation of regional-scale water and energy budgets: representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM. **J Geophys Res.**, 105: 29579-29594, 2000.

PAMPUCH, L. A. **Investigação do Modo Sul no clima presente e futuro no Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

REINKE, G. L.; REINKE, R. L.; REINKE, C. K. P. Análise Preliminar de um Caso de VCAN que Favoreceu a Ocorrência de Grandes Enchentes no Sul do Brasil em dezembro de 1995. **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Florianópolis – SC**, 2006.

RUMMEL, R. J. Applied Factor Analysis, **Northwestern University Press**, Evanston, IL, 1970.

SABATINI, A. D. **Índices de extremos climáticos de temperatura e chuva na América do Sul: clima presente e validação do modelo RegCM3**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

WILKS, D. S. Statistical methods in the atmospheric sciences. **Academic Press**, 1995.
ZHANG, Y.; WALLACE, J. M.; BATTISTI, D. S. ENSO-like Interdecadal Variability: 1900-93. **Journal of Climate**, v. 10, p. 1004-1020, 1997.